

ผลการทดสอบค่าในสนามและการวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเม็ดดินเผาในห้องทดลอง

5.1.1 ผลการทดลองค่าความสึกหรอ (% Abrasion), ค่าการหลุดลอก (% Stripping), ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index), ค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity), น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในสภาพหลวม (Loose Unit weight) และ % การดูดซึมของยางแอสฟัลท์ (% Asphalt Absorption) ของวัสดุเม็ดดินเผาขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว เมื่อกู้ณหภูมิตั้งที่  $1,000^{\circ}\text{C}$  ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ดังนี้ คือ ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของเม็ดดินเผาในห้องทดลองเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดไว้

คุณสมบัติของวัสดุเม็ดดินเผา	ค่าที่ได้จากการทดลอง	ค่าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ( $\Delta$ )
ค่าความสึกหรอ (AAV) _____%	26.52	ไม่เกิน 35
ค่าการหลุดลอก (Stripping) _____%	5 ( $\Delta\Delta$ )	ไม่เกิน 20
ค่าดัชนีความแบน (F.I.) _____%	0	ไม่เกิน 35
ค่าขนาดเฉลี่ย (N.S.) _____ มม.	11.17	-
ค่า Average Least Dimension (A.L.D.) _____ มม.	9.58	-
ค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ย ( $G_{ag}$ )	1.614	-
ค่าน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรเฉลี่ยในสภาพหลวม ( $\gamma_{loose}$ ) _____ ตัน/ลบ.ม.	0.977	-
ค่าปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุเม็ดดินเผา ( $W_a$ ) _____%	13.0 *	-
ค่าการดูดซึมของยางแอสฟัลท์โดยเฉลี่ย ( $A_{ac}$ ) _____%	2.06	-

$\Delta$  ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล-ม 401/2518

$\Delta\Delta$  ดูรายละเอียดในรูปที่ 5.1 และ 5.2

\* ทดสอบโดยแช่น้ำ 15 ชั่วโมง

### การวิเคราะห์ผล

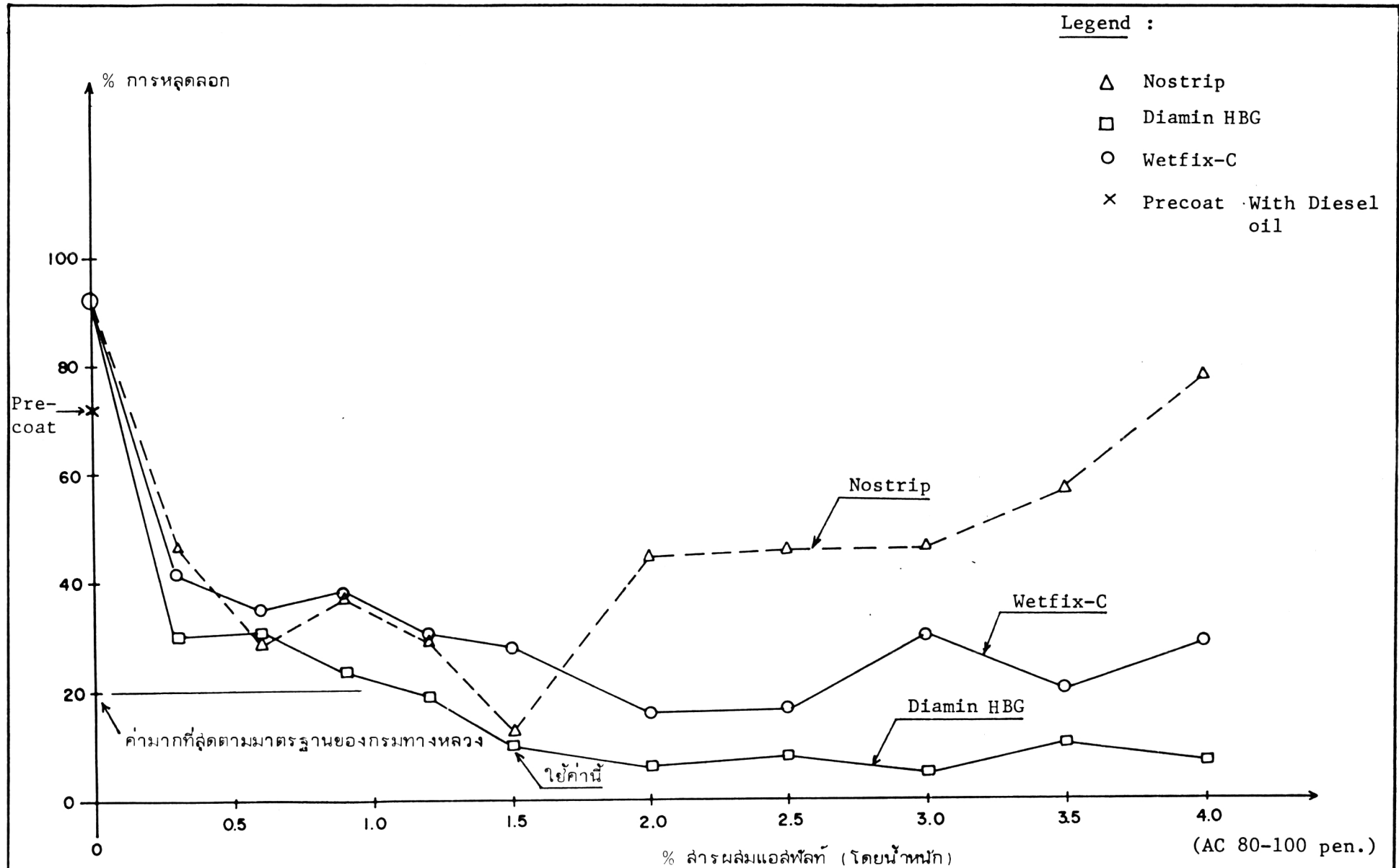
ก. ค่าความสึกหรอ AAV ของเม็ดดินเผาหนองงูเห่า ขนาด  $\frac{1}{2}$  นิ้ว ที่อุณหภูมิ  $1,000^{\circ}\text{C}$  มีค่า 26.52% อยู่ภายในกำหนด 35% ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง อธิบายได้ว่าเมื่อเผาเม็ดดินจนถึงอุณหภูมิ  $1,000^{\circ}\text{C}$  เม็ดดินเผาจะมีกำลังเพิ่มขึ้นเนื่องจากส่วนประกอบออกไซด์ของธาตุต่าง ๆ เช่น  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ซึ่งมีอยู่เป็นปริมาณมากในดินเหนียวเกิดการรวมตัวกันเป็นโครงสร้างผลึกใหม่ ซึ่งมีความแข็งเพียงพอในการต้านทานความสึกหรอและรับน้ำหนักได้ดี โครงสร้างผลึกใหม่นี้จะมีผลโดยตรงต่อกำลังของเม็ดดินเผา<sup>(17)</sup> และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของการเผา แต่จะลดลงเมื่อถึงจุดหลอมเหลว ซึ่งปริมาณโครงสร้างผลึกใหม่ที่เกิดขึ้นจะเริ่มหลอมเหลวและสลายไปใน Glassy Phase

ข. ค่า % การหลุดลอกของเม็ดดินเผาจากยางแอสฟัลท์ (ตามรูปที่ 5.1(ก) และ (ข)) สามารถสรุปได้ดังนี้ คือ

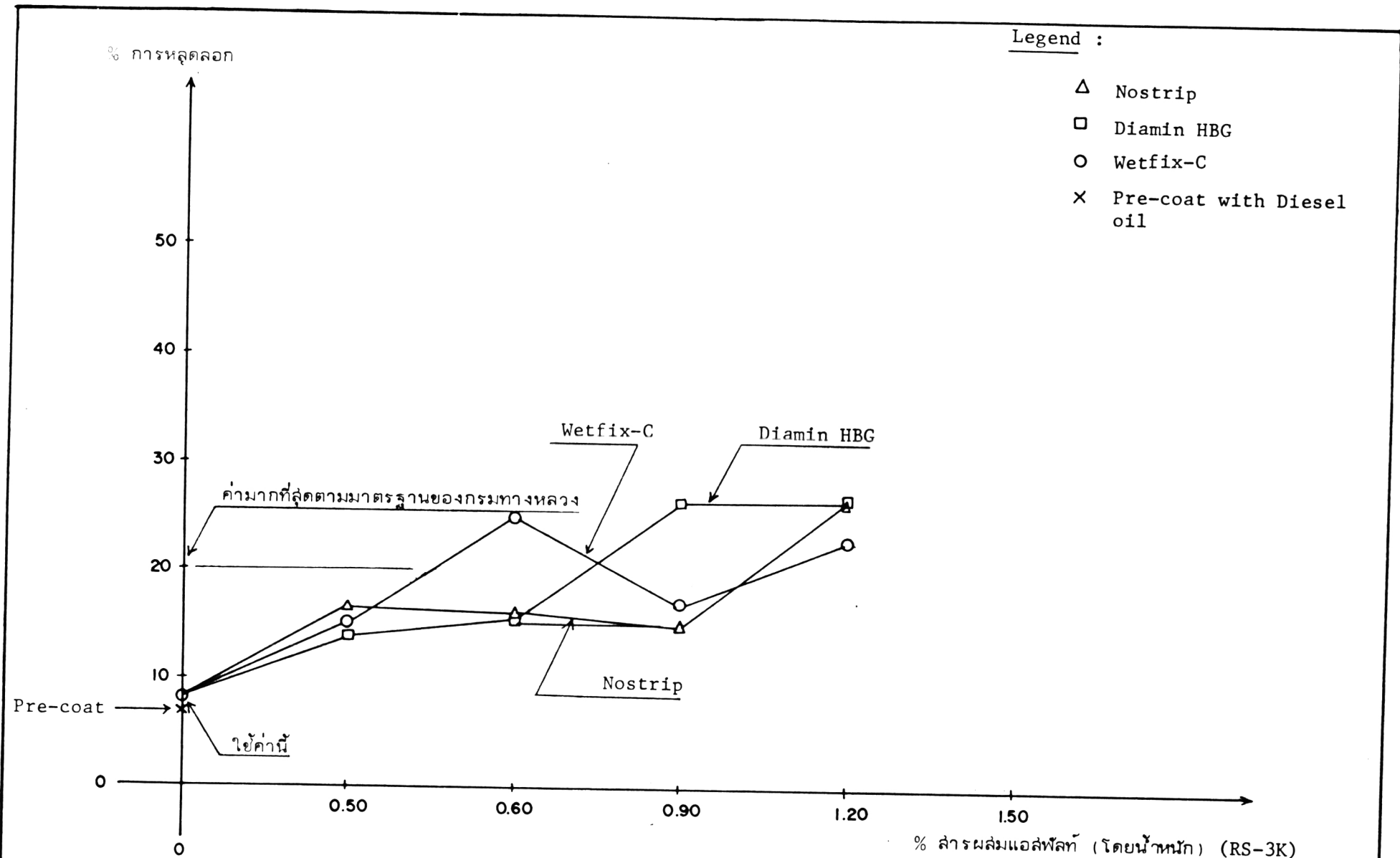
สำหรับยางแอสฟัลท์ชนิด AC 80-100 pen. เมื่อไม่ใส่สารผสมแอสฟัลท์ (Adhesion agent) จะมีค่าเฉลี่ยของการหลุดลอกสูงถึง 92.0% มากกว่า 20% ตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ไม่สามารถนำไปใช้งานผิวทางได้ ดังนั้นจะต้องใส่สารผสมแอสฟัลท์ลงไป เพื่อช่วยในการยึดเกาะระหว่างยางแอสฟัลท์กับเม็ดดินเผาที่ใช้ สาเหตุของค่าการหลุดลอกที่สูงนี้ อาจเนื่องมาจากเม็ดดินเผามีฝุ่นผงละเอียดเกาะอยู่บริเวณผิวมาก ซึ่งเป็นลักษณะคุณสมบัติของเนื้อดินเหนียวตามธรรมชาติ มีผลทำให้การยึดเกาะของเม็ดดินเผากับยางแอสฟัลท์เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ และอาจมีอากาศซึมแทรกเข้าไปในระหว่างผิวสัมผัสของยางและเม็ดดินเผา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อยู่ในสภาพเปียก จะมีน้ำซึมเข้าตามร่องหรือรูพรุนเปิดที่ผิวเม็ดดินเผา ทำให้แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดินเผากับยางแอสฟัลท์ลดลงไป แต่เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ในการวิจัยนี้ คือ Nostrip, Diamin HBG และ Wetfix-C ลงไปในอัตราส่วน 0.30 ถึง 4.0% โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลท์ที่ใช้ ปรากฏผลว่า

เมื่อใส่ Nostrip, Diamin HBG และ Wetfix-C (ดังแสดงในรูปที่ 3.16) ลงไปในยาง AC 80-100 pen. แล้ว ค่า % การหลุดลอกจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าต่ำสุดดังตารางที่ 5.2 คือ





รูปที่ 5.1(ก) แสดงค่า % การหลุดลอก (Stripping) ของเม็ดดินเผากับยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ชนิด AC (80-100 pen.) เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ (Adhesion Agents) ในปริมาณต่าง ๆ



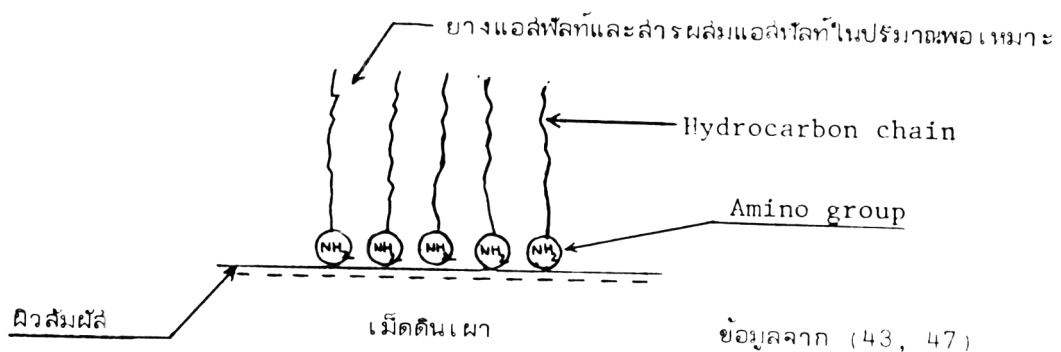
รูปที่ 5.1 (ข) แสดง % การหลุดลอก (Stripping) ของเม็ติดินเผากับยางอีพ็อกซีไฟต์แอสฟัลท์ ชนิด RS-3K เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ (Adhesion Agents) ในปริมาณต่าง ๆ

ตารางที่ 5.2 แสดง% ค่าการหลุดลอกต่ำสุด เมื่อใช้สารผสมแอสฟัลท์ชนิดต่าง ๆ สำหรับยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ AC 80-100 pen.

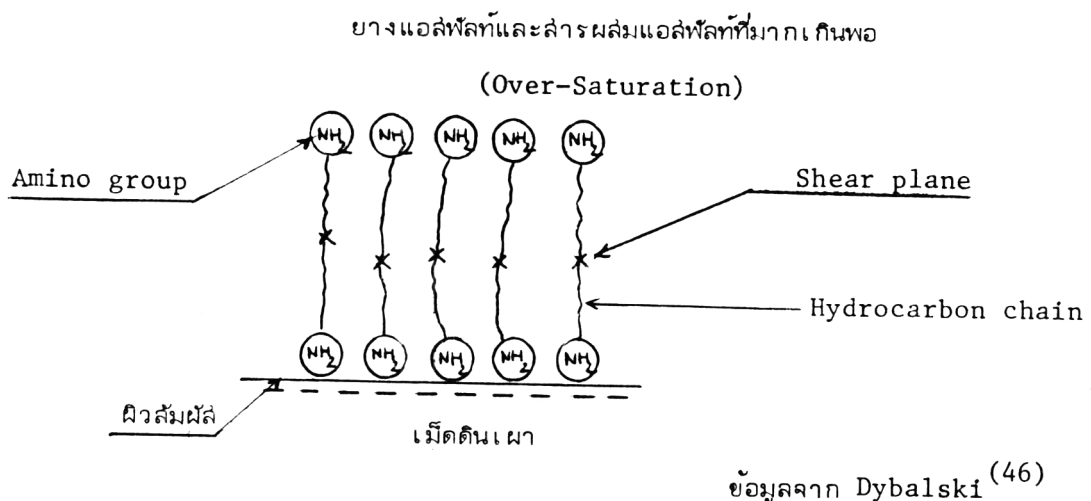
สารผสมแอสฟัลท์ที่ใช้	ค่าการหลุดลอกต่ำสุด (%)	ปริมาณสารผสมแอสฟัลท์ที่ใช้คิดเป็น % โดยน้ำหนัก
Nostrip	12.5	1.50
Diamin HBG	5.0	3.00
Wetfix-C	16.0	2.00
เคลือบ (Precoat) ด้วย น้ำมันดีเซล	72.0	-

หมายเหตุ ในแปลงทดลองใช้ Diamin HBG 1.5% ได้ค่าการหลุดลอก 10% เพื่อการประหยัด

แต่เมื่อเพิ่มสารผสมแอสฟัลท์มากขึ้นจนถึง 4.0% โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้ ค่า % การหลุดลอกกลับเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร Nostrip จะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 อธิบายได้ว่า เนื่องมาจากสารผสมแอสฟัลท์ทั้งสามชนิดเป็นสารประกอบของ Fatty Base Amines ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีหลักที่สำคัญ คือ  $R^*-NH_2$  และ  $R^*-NH-CH_2-CH_2-CH_2-NH_2$  (สำหรับ Diamine) โดยที่  $R^*$  เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนอะตอมระหว่าง 16-22 อะตอม<sup>(43)</sup> มีคุณสมบัติเป็น Cationic Surface-active agent คือ เมื่อแตกตัวในน้ำจะแสดงประจุไฟฟ้าบวกที่ผิวสัมผัส (Interface surface) ดังนั้น เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์เหล่านี้ลงในยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ประจุบวกที่ผิวสัมผัสจะทำให้ปฏิกิริยายึดเกาะกับประจุลบตามผิวหน้าของเม็ดดินเผา ซึ่งเป็นสารประกอบซิลิกา ( $SiO_2$ )<sup>(43)</sup> เมื่อถูกความชื้น การยึดเกาะกันนี้จะเป็นลักษณะที่ hydrocarbon chain อยู่ในแอสฟัลท์ และมี Amino group ( $NH_2$ ) เกาะยึดกับผิวเม็ดดินเผา ซึ่งตัว hydrocarbon chain นี้เปรียบเสมือนสะพานเชื่อมระหว่างเม็ดดินเผากับยางแอสฟัลท์ ทำให้การยึดเกาะแข็งแรงขึ้นจนสามารถทนทานต่อการหลุดร่อนเนื่องจากน้ำได้ดี ดังแสดงตามรูปนี้



ต่อมาเมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์เพิ่มเข้าไปในยางแอสฟัลท์ซีเมนต์มากขึ้น จะทำให้ส่วนของวัสดุประสาน Bitumen Binder ในยางแตกตัวหรือแยกตัวออกจากกันขณะที่ทำการผสม มีผลทำให้คุณสมบัติเหนียวของตัวยางลดน้อยลงไป ซึ่งจะลดลงมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับประเภทของยางแอสฟัลท์ และวัสดุผสมรวมที่ใช้ คุณสมบัติผสมและปฏิกิริยาของสารประกอบในสารผสมแอสฟัลท์ (Adhesion Agent) แต่ละชนิดที่แตกต่างกันไป<sup>(47)</sup> แต่จากการศึกษาค้นคว้าของ Dybalski<sup>(46)</sup> จะพิจารณาในด้านปฏิกิริยาเคมีเป็นส่วนใหญ่ พบว่า เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์มากเกินไป (Over-Saturation) จะเกิดการยึดเกาะกันของ hydrocarbon chain เองทำให้เกิด shear plane ขึ้น ซึ่งบริเวณนี้จะมีคุณสมบัติไวต่อน้ำ (Water Susceptible) สามารถดึงดูตโมเลกุลของน้ำเข้ามาทำให้มีโอกาสเกิดการหลุดร่อนของเม็ดดินเผาได้มาก ตามรูป



ส่วนการเคลือบ (pre-coat) เม็ดดินเผาด้วยน้ำชนิดไฮดรอกซีลก่อนทำการทดลองค่า % การหลุดลอก โดยไม่ใส่สารผสมแอสฟัลท์ ปรากฏว่าได้ค่าสูงถึง 72% อาจเนื่องมาจากการเคลือบด้วยน้ำชนิดไฮดรอกซีลนี้เป็นเพียงทำให้ฝุ่นผงตามผิวหน้าของเม็ดดินเผาแน่นลง แต่ประจุไฟฟ้าลบตามผิวหน้า เนื่องจากเป็นวัสดุผสมรวมประเภทซิลิกา (siliceous aggregate) ยังคงอยู่ ทำให้ยางแอสฟัลท์ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลของกรดไขมัน (Fatty acid) คือ R-COOH มีประจุลบ R-COO<sup>-</sup> เช่นกัน เกิดเป็นแรงผลักระหว่างกัน จนเกิดการหลุดลอกขึ้นได้

ในกรณีของยางอีพ็อกซีไฟด์ ชนิด RS-3K ทำการทดลอง % การหลุดลอกเมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ทั้งสามชนิดลงไปในส่วน 0.3 ถึง 1.2% โดยน้ำหนักของยางอีพ็อกซีไฟด์ที่ใช้ ปรากฏผลดังตารางที่ 5.3 คือ

ตารางที่ 5.3 แสดงค่า % การหลุดลอกต่ำสุด เมื่อใช้สารผสมแอสฟัลท์ชนิดต่าง ๆ สำหรับ ยางอีมีลซิฟิ์ RS-3K

สารผสมแอสฟัลท์ ที่ใช้	ค่าการหลุดลอก ต่ำสุด (%)	ปริมาณสารผสม แอสฟัลท์ที่ใช้ (%โดยน้ำหนัก)	หมายเหตุ
Nostrip	14.0	0.30	ทำให้เกิดดินเผา เปียกด้วยน้ำ สะอาดก่อน
Diamin HBG	15.0	0.90	
Wetfix-C	15.0	0.30	
เคลือบ (Precoat) ด้วยน้ำมันดีเซล	7.0	-	ไม่ใส่สารผสมแอสฟัลท์
ไม่ใส่สารผสมแอสฟัลท์	8.0	-	ใช้ค่านี้ในการทดลองบนแปลงทดสอบ

จะเห็นได้ว่าสำหรับยางอีมีลซิฟิ์ ชนิด RS-3K % การหลุดลอกเมื่อเคลือบเม็ดดินเผาด้วยน้ำมันดีเซล และเมื่อทำให้เกิดดินเผาเปียกโดยไม่ใส่สารผสมแอสฟัลท์ จะให้ค่า % การหลุดลอกต่ำกว่าเมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ อธิบายได้ว่า โดยทั่วไปปฏิกิริยาการยึดเกาะระหว่างวัสดุผสมรวม ไม่ว่าจะเป็นดิน เม็ดดินเผาหรือวัสดุอื่นใดกับยางแอสฟัลท์จะขึ้นอยู่กับ การแตกตัวของอนุภาคแอสฟัลท์เล็ก ๆ (Emulsions) ในยางและจะเกิดขึ้นหลังจากน้ำในสารละลายแอสฟัลท์ได้ระเหยออกไปหมด แอสฟัลท์จะค่อย ๆ แทนที่น้ำที่เคลือบผิววัสดุผสมรวมอยู่ เมื่อน้ำระเหยออกอาจเนื่องจากแรงบดทับของยวดยานที่วิ่งผ่านหรือจากการดูดซึมของตัววัสดุผสมรวมเอง จะทำให้เกิดแรงยึดเกาะขึ้นได้ ในการทดลองนี้การทำให้เกิดดินเผาเปียกด้วยน้ำสะอาดเสียก่อน และเคลือบเม็ดดินเผาด้วยน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นวิธีการล้างฝุ่นผงที่เกาะตามผิวหน้าจะทำให้ยางแอสฟัลท์กับเม็ดดินเผาที่มีผิวสัมผัสมากขึ้น แม้ว่าน้ำมันดีเซลจะไม่เกี่ยวกับกลไกในการแตกตัว แต่ในทางปฏิบัติต้องรอเวลาเพื่อให้ไขมันระเหยออกไปก่อนจึงจะใช้งานได้<sup>(43)</sup> ประกอบกับเม็ดดินเผาที่มีอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption) สูงมากถึง 13.0% ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้อนุภาคแอสฟัลท์เล็ก ๆ (Emulsions) ในยางแตกตัวเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเกิดการจับตัวของอนุภาคแอสฟัลท์เป็นก้อนและยึดเกาะกับผิวหน้าของเม็ดดินเผาได้ดียิ่งขึ้น

เมื่อใส่สารผสมแอสฟัลท์ทั้งสามชนิดลงไปในยางอีมีลซิฟิ์ RS-3K จะเกิดการหลุดลอกสูงกว่าเมื่อไม่ใส่ เนื่องมาจากเหตุผลที่ว่า สารประกอบ Fatty Amine ที่ใส่เข้าไปนั้นจะทำให้เกิดการแตกตัว (Emulsification) ของวัสดุประสานปิวเรณในยางอีมีลซิฟิ์ใน

ขณะผล้มมากเกินไป ทำให้คุณสมบัติในการยึดเกาะกับผิวเม็ดดินเผาและการจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคแอสฟัลท์ลดน้อยลง ซึ่งจะลดลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติสารองค์ประกอบของสารผล้มแอสฟัลท์แต่ละชนิด<sup>(47)</sup>

ค. ค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ย (Gag) ของเม็ดดินเผา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.614 ค่านี้ใช้สำหรับคำนวณหาปริมาตร, ช่องว่าง (Void Fraction) ระหว่างเม็ดดินเผา และปริมาณของเม็ดดินเผาที่ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งค่าดังกล่าวได้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองของ เจน บูลชีอ ในปี พ.ศ. 2523 คือ เม็ดดินเผาหนองงูเห่าเมื่อเผาที่อุณหภูมิ  $1,000^{\circ}\text{C}$  มีค่าเท่ากับ 1.610 แสดงว่า เม็ดดินเผาเมื่อเผาถึงอุณหภูมินี้ ยังไม่ถึงจุดอ่อนตัว (Softening point) ของเม็ดดินเผา ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาสามารถหนีออกจากเม็ดดินเผาได้ แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิการเผาให้สูงขึ้นไปอีก (มากกว่า  $1,200^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป) เม็ดดินเผาจะเริ่มอ่อนตัวเกิดความหนืด (Viscosity) และแรงตึงผิว (Surface Tension) มากเพียงพอที่จะสามารถเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้นไว้ไม่ให้เกิดการรั่วไหลออกไปได้ ทำให้เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้น ความถ่วงจำเพาะจะลดลงอย่างมาก ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานผิวทาง (ค่า AAV จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน  $1,000^{\circ}\text{C}$ )<sup>(17)</sup>

ง. ค่าดัชนีความแบน (F.I.) ขนาดเฉลี่ย (M.S.) และค่า A.L.D. ของเม็ดดินเผา มีค่า 0 %, 11.17 มม. และ 9.58 มม. ตามลำดับ ค่าเหล่านี้ใช้สำหรับคำนวณหาปริมาณของเม็ดดินเผาและยางแอสฟัลท์ชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการก่อสร้าง ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก. ค่าดัชนีความแบนของเม็ดดินเผาที่มีค่า 0 % เพราะเม็ดดินเผาที่ผลิตขึ้นนี้ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวใกล้เคียงกัน ดังนั้นส่วนแบนของเม็ดดินเผาจึงไม่มี ต่างกับหินปูนซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน มีส่วนแคบและส่วนกว้างของแต่ละเม็ดเด่นชัด ค่าดัชนีความแบนจึงสูงกว่าเม็ดดินเผา ส่วนค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรในสภาพหลวม ( $\gamma_{\text{loose}}$ ) ของเม็ดดินเผาที่มีค่า 0.977 ตันต่อลบ.เมตร จะนำไปคำนวณหาปริมาณเม็ดดินเผาที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่โดยวิธีตรง (Test - Board method) ตามหลักการของ Kearby และ Mackintosh<sup>(27)</sup> วิธีนี้จะได้อัตราที่ค่อนข้างแน่นอน เพราะได้คิดผลของขนาด รูปร่าง หน่วยน้ำหนัก (unit weight) และช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุดินเผาที่มีต่อปริมาณเม็ดดินเผาที่ใช้เอาไว้ ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบในทางปฏิบัติที่ดีและเหมาะสมในการนำไปใช้คำนวณหาปริมาณวัสดุรวมอย่างง่าย

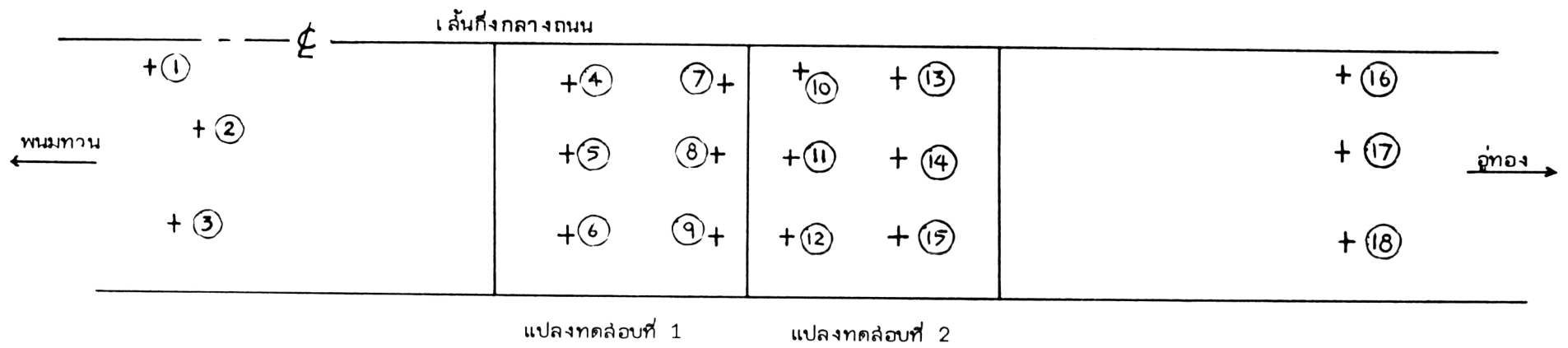
สำหรับวิธีการหาค่าขนาดเฉลี่ย และค่า A.L.D. ของเม็ดดินเผา ได้กล่าวไว้พร้อมตัวอย่างการคำนวณในภาคผนวก ก. แล้ว

จ. ค่าปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อเม็ดดินเผา ( $P_a$ ) และค่า % การดูดซึมของยางแอสฟัลท์โดยเฉลี่ยของเม็ดดินเผา ( $A_{ac}$ ) มีค่าเท่ากับ 13.0% และ 2.06% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยมากกว่าหินปูนโดยทั่วไป คือ  $P_a$  ของหินปูนเฉลี่ย 0.26% และ  $A_{ac}$  ของหินปูนเฉลี่ย 0.20% อธิบายได้ว่า เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิสูงถึง  $1,000^\circ\text{C}$  จะเกิดการสูญเสีย OH-group ในโครงสร้างดินและก๊าซที่เกิดขึ้นภายในเม็ดดินในระหว่างการเผาจะหนีออกไป ทำให้เกิดรูพรุนปิดภายในเม็ดดินเผาและรูพรุนเปิดบริเวณผิวหน้าขึ้น ซึ่งความพรุนนี้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาที่สูงขึ้นและจะลดลงเมื่อถึงจุดหลอมเหลว (Fusion point)<sup>(17)</sup> ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การดูดซึมของยางแอสฟัลท์ และน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อเม็ดดินเผา มีค่าสูงกว่าหินปูนซึ่งมีปริมาณความพรุนน้อยกว่า

## 5.2 ผลการศึกษาค่าในแปลงทดสอบ

5.2.1 ด้านความต้านทานการสั่นโกลของผิวทาง ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการทดสอบค่าความต้านทานการสั่นโกลของผิวทางออกเป็น 2 สภาวะ คือ ในสภาพผิวทางแห้งและผิวทางเปียก โดยวัดค่าออกมาในรูป  $BPN_D$  และ  $BPN_W$  ตามตำแหน่งในแต่ละแปลงทดสอบ และบริเวณผิวทางเซอร์เฟสทริตเมนต์หินปูนข้างเคียงในแนวร่องล้อที่ปรากฏกับบริเวณกึ่งกลางระหว่างแนวร่องล้อที่ปรากฏ เพื่อเปรียบเทียบผล ดังรายละเอียดแสดงไว้ในรูปที่ 5.2 และค่าความสึกผิวทาง (STD) ก็ได้ทำการวัดค่าในบริเวณดังกล่าวตามตำแหน่งที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 พร้อมผลที่วัดได้ ส่วนค่าความต้านทานการสั่นโกลที่วัดได้จะทำการปรับแก้ค่าไปที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$  ( $BPN_{D,W(20^\circ\text{C})}$ ) โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ตามรูปที่ 4.7 และได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 5.2

5.2.1.1 ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการสั่นโกล ( $BPN_D$  และ  $BPN_W$ ) กับอายุการใช้งานของผิวทาง (Service Life) ตามรูปที่ 5.3 (ก) - (ข) แสดงให้เห็นว่า เมื่ออายุการใช้งาน (อายุบริการ) เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานการสั่นโกลเฉลี่ยของผิวทางจะลดลงทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียก และค่าความต้านทานการสั่นโกลเฉลี่ยของผิวทางในสภาพผิวทางแห้งจะมากกว่าค่าในสภาพผิวทางเปียก เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก ขณะที่รถยนต์แล่นผ่านไปมาบนผิวทาง ยางล้อรถที่สัมผัสกับผิวทางจะเกิดขูดสีและบดทับผิวทาง ทำให้ลักษณะผิวทางเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือ ผิวมหภาค และผิวจุลภาคของผิวทางลดลง แรงยึดเกาะ (Adhesion) และแรงยึดเกาะลดลง จึงมีผลทำให้ค่าความต้านทานการสั่นโกลของผิวทาง



มาตราส่วน 1 : 75

รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของการวัดค่า  $BPN_D$  และ  $BPN_W$  บนแปลงทดลอบที่ 1, 2 และผิวทางเซอร์เฟลทริตเมนต์หินปูนข้างเคียงบนเส้นทางสาย 324 ตอนพหุมทวน-อุทอง

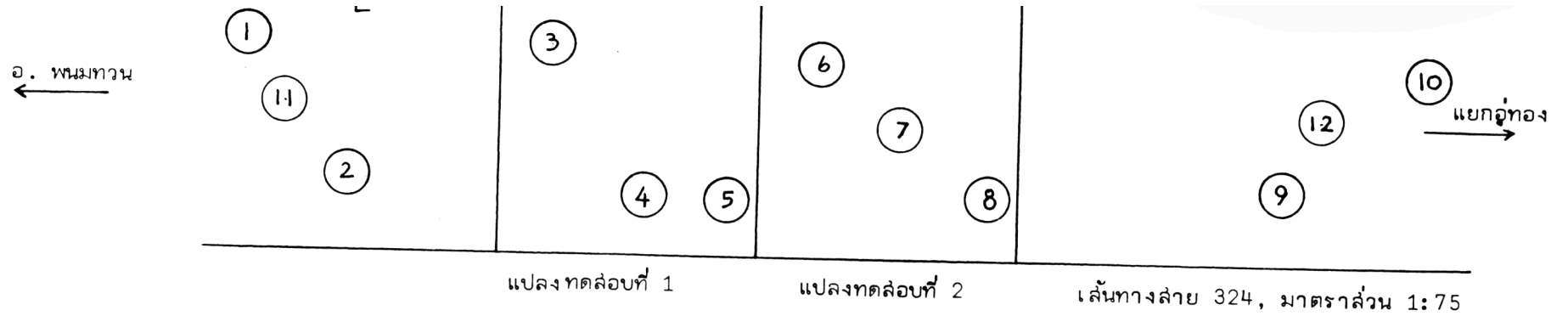


ครั้งที่ ทดสอบ BPN	ความต้านทาน การสิ้นโกล เด็ส (BPN)	แปลงทดสอบที่ 1			แปลงทดสอบที่ 2			ผิวทางเออร์เฟสท์รีตเมนต์หินปูนข้างเคียง			ปริมาณการจราจรใน 1 ช่อง ทางจราจร	
		แนวร่องล้อ บริเวณเส้นกึ่ง- กลางถนน จุด 4 , 7	ระหว่างแนว ร่องล้อ จุด 5 , 8	แนวร่องล้อ บริเวณขอบ ถนน จุด 6 , 9	แนวร่องล้อ บริเวณเส้นกึ่ง กลางถนน จุด 10 , 13	ระหว่างแนว ร่องล้อ จุด 11 , 14	แนวร่องล้อ บริเวณขอบ ถนน จุด 12 , 15	แนวร่องล้อ บริเวณเส้นกึ่ง กลางถนน จุด 1 , 16	ระหว่างแนว ร่องล้อ จุด 2 , 17	แนวร่องล้อ บริเวณขอบ ถนน จุด 3 , 18	ปริมาณการ จราจรนับจาก วันเปิดจนถึง วันทดสอบ BPN **	ปริมาณการจราจร สะสม (Accumulated traffic volume)
1 14 ธ. 27	BPN <sub>D</sub> (20°C)	94	100	93	96	97	90.5	96.5	93	94	11,440	11,440
	BPN <sub>W</sub> (20°C)	59	64.5	63	67	69.5	67	60.5	63	58.5		
2 17 ก. 27	BPN <sub>D</sub> (20°C)	88	91	89	87.5	88.5	85.5	89	88	85.5	23,595	35,035
	BPN <sub>W</sub> (20°C)	55.5	60.5	59	61	63	62	54	56.5	55		
3 5 ก. 27	BPN <sub>D</sub> (20°C)	82	85	84	81.5	88	83	82.5	85	83.5	35,750	70,785
	BPN <sub>W</sub> (20°C)	54.5	57	57.5	56	60	58	49.5	55	51.5		
4 26 ก. 27	BPN <sub>D</sub> (20°C)	83	85	84	81.5	84	83	80	79	80	15,015	85,800
	BPN <sub>W</sub> (20°C)	52	55	54.5	54.5	57.5	58	49	52.5	48		
5 29 ต. 27	BPN <sub>D</sub> (20°C)	83	83.5	82	81	83.5	82	77.5	78.5	78	23,595	109,395
	BPN <sub>W</sub> (20°C)	52	54	53.5	53.5	56.5	56	47.5	50	46.5*		

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าความต้านทานการสิ้นโกลเด็สของผิวทางบนแปลงทดสอบที่ 1, 2 และผิวทางเออร์เฟสท์รีตเมนต์หินปูนข้างเคียงในสภาพผิวทางแห้งและเปียกที่อุณหภูมิ 20°C (BPN<sub>D</sub>(20°C) และ BPN<sub>W</sub>(20°C) )

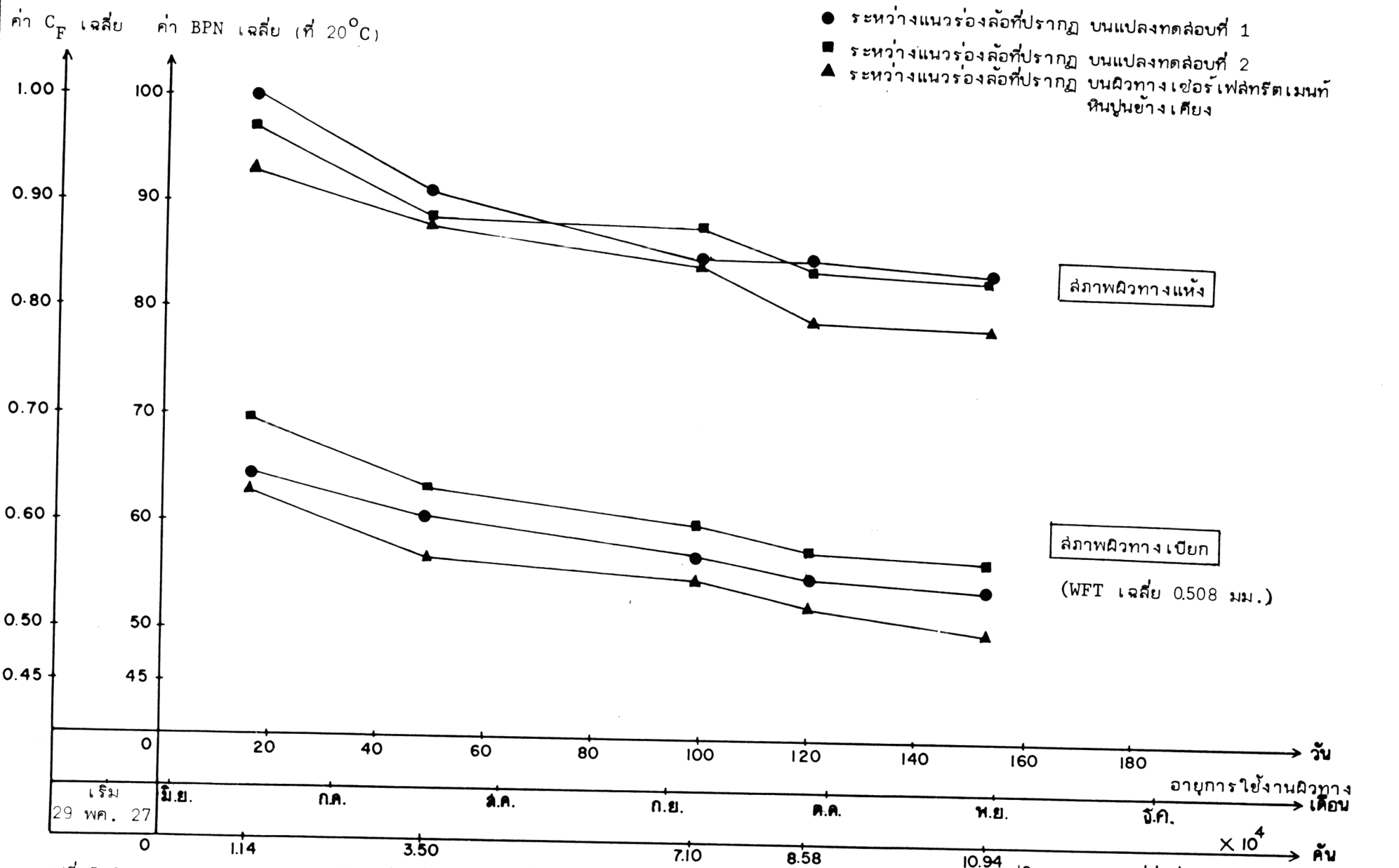
\* ค่าความต้านทานการสิ้นโกลต่ำสุด \*\* ได้จาก ADT x จำนวนวัน (ADT = ปริมาณการจราจรใน 1 ชั่วโมงที่ได้จากการสำรวจ x 1.68 x 8)

หมายเหตุ %จำนวนรถโดยสารหนักและรถบรรทุกเด็ส (% HB & T) = 67.7% , ท้าการปูผิวทางวันที่ 29 พค. 2527

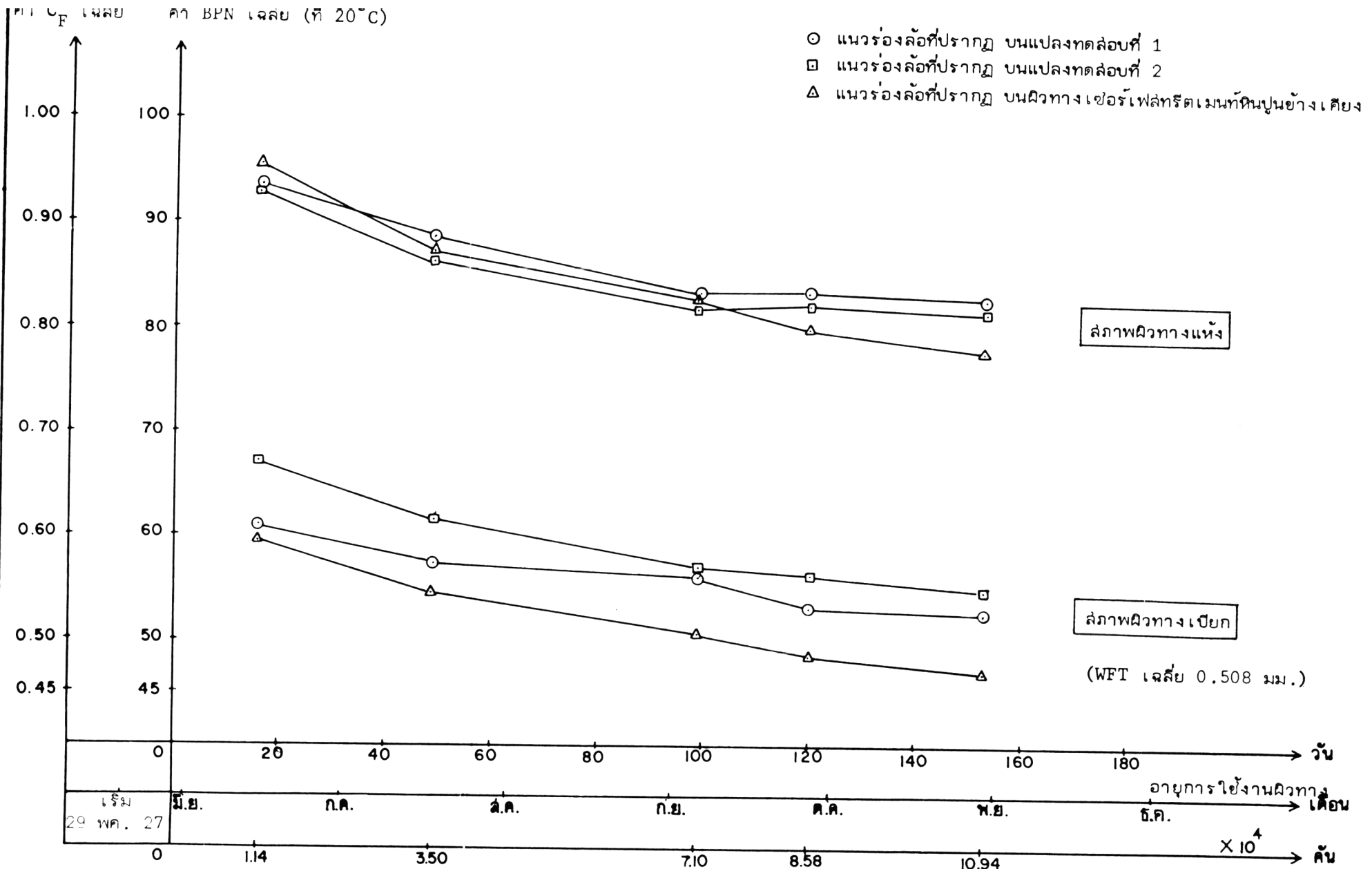


ครั้งที่	อายุการไ้- งานของผิว ทาง  (วัน)	ค่าความสึกผิวทางเฉลี่ย (STD).....มม.					
		แปลงทดลองที่ 1		แปลงทดลองที่ 2		ผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนข้างเคียง	
		แนวร่องล้อที่ปรากฏ จุด 3, 4, 5	ระหว่างแนวร่องล้อที่ ปรากฏ	แนวร่องล้อที่ปรากฏ จุด 6, 8	ระหว่างแนวร่องล้อที่ ปรากฏ จุด 7	แนวร่องล้อที่ปรากฏ จุด 1, 10, 2, 9	ระหว่างแนวร่องล้อที่ ปรากฏ จุด 11, 12
1 14 มิย. 27	16	2.58	-	2.47	2.81	-	-
2 17 กค. 27	49	2.55	-	2.36	2.40	2.31	-
3 5 กย. 27	99	2.24	-	1.87	1.86	2.09	-
4 26 กย. 27	120	2.00	-	1.85	1.78	1.89	2.19
5 29 ตค. 27	153	1.97	-	1.73	1.73	1.74	1.97

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าเฉลี่ยของความสึกผิวทาง (STD) บนแปลงทดลองที่ 1, 2 และผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนข้างเคียง ตามตำแหน่งที่วัดค่า STD ด้านบน



รูปที่ 5.3 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ย ในสภาพผิวทางแห้งและเปียก กับอายุการใช้งานของผิวทางระหว่างแนวร่องล้อที่ปรากฏ บนแปลงทดสอบที่ 1, 2 และบนผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนอย่างเคียง ปริมาณขบวนรถที่วิ่งผ่าน (Vehicle passes)



รูปที่ 5.3 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ย ในสภาพผิวทางแห้งและเปียก กับอายุการใช้งานของผิวทางในแนวนร่องล้อที่ปรากฏบนแปลงทดสอบที่ 1, 2 และบนผิวทางเออร์เฟลทริตเมนต์หินปูนข้างเคียง ปริมาณยานที่วิ่งผ่าน (Vehicle passes)

ลดลง ยิ่งเมื่ออายุใช้งานของผิวทางมากขึ้น ผิวทางจะถูกขัดสีและบดทับเพิ่มขึ้น ความต้านทานการสิ้นไถลจะลดน้อยลงไปด้วย ส่วนสาเหตุที่ความต้านทานการสิ้นไถลของผิวทางในสภาพผิวทางแห้งมีค่าสูงกว่าในสภาพผิวทางเปียก เพราะในสภาพผิวทางเปียกนั้นบนผิวทางจะเป็นตัวการทำให้เกิดการสิ้นไถลคือ ความหนาฟิล์มน้ำจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างยางล้อรถกับผิวทางน้อยลง นอกจากนี้อัตราการลดของค่าความต้านทานการสิ้นไถลเฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้งจะมากกว่าในสภาพผิวทางเปียก เพราะอุณหภูมิของผิวทางจะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ยางแอสฟัลท์ได้วัสดุเม็ดดินเผาเกิดการเป็มและอ่อนตัวลง (Bleeding effect) จนการยึดเหนี่ยวของยางแอสฟัลท์ที่มีต่อเม็ดดินเผาจะน้อยกว่าเมื่อผิวทางอยู่ในอุณหภูมิปกติ ดังนั้นอัตราการลดลงของค่าความต้านทานการสิ้นไถลเฉลี่ยของผิวทางในสภาพผิวทางแห้ง ( $BPN_D$ ) จึงมีค่าสูงกว่าในสภาพผิวทางเปียก ( $BPN_W$ ) และค่าความต้านทานการสิ้นไถลเฉลี่ยในแนวร่องล้อที่ปรากฏทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียกมีค่าต่ำกว่าในระหว่างแนวร่องล้อ เนื่องจากส่วนของผิวทางบริเวณแนวร่องล้อจะถูกการขัดสีและบดทับจากยางล้อรถโดยตรง และบ่อยครั้งกว่านั่นเอง

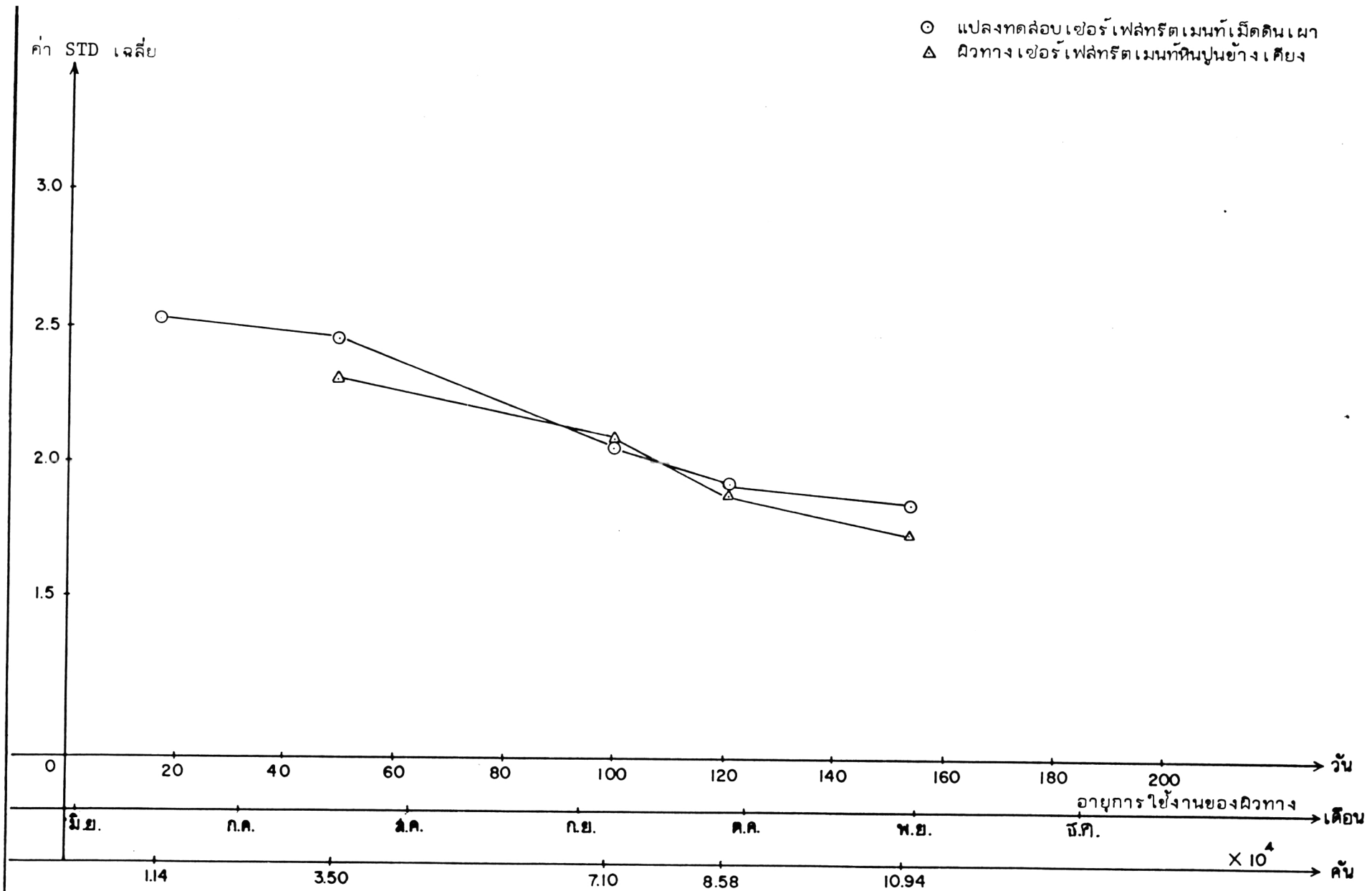
5.2.1.2 ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการสิ้นไถล ( $BPN_D$  และ  $BPN_W$ ) กับปริมาณการจราจรสะสม (Accumulated Traffic Volume) ในการศึกษาวิจัยนี้ ปริมาณการจราจรสะสมจะคิดจากค่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน (Annual Daily Traffic, ADT) ตลอดระยะเวลาของการวัดค่า BPN. โดยใช้หลักและวิธีการของหน่วยสถิติกองวางแผนกรมทางหลวง<sup>(45)</sup> ซึ่งปริมาณการจราจรสะสมนี้จะคิดเฉพาะปริมาณยวดยานที่วิ่งผ่านแปลงทดลองเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ตามรูปที่ 5.3 (ก), (ข) แสดงให้เห็นว่า ค่าความต้านทานการสิ้นไถลเฉลี่ยของผิวทางในสภาพผิวทางแห้งและเปียก จะลดลงเมื่อปริมาณการจราจรสะสมที่วิ่งผ่านแปลงทดลองมากขึ้น โดยจะมีอัตราการลดสูงในช่วงแรก คือ เมื่อปริมาณการจราจรผ่านไปประมาณ  $7.1 \times 10^4$  คัน และจะค่อย ๆ ลดน้อยลงในช่วงต่อ ๆ ไป ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ ยางแอสฟัลท์ยังมีความอ่อนตัวอยู่ เม็ดดินเผาที่ปูบนผิวทางยังอยู่ในสภาพหลวม ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ด (Voids) มีมาก เมื่อได้รับการบดทับจากยวดยานที่แล่นผ่านไปบนผิวทาง ทำให้เม็ดดินเผาเกิดการอัดเรียงตัวอยู่ในตำแหน่งที่มีเสถียรภาพมากขึ้น ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินเผาจะน้อยลง ยางแอสฟัลท์จะถูกบีบให้เป็มขึ้นมาบนผิวทางได้ เป็นผลให้ผิวมหภาคลดลงมาก ค่าความต้านทานการสิ้นไถลในช่วงนี้จึงมีอัตราการลดสูง ต่อมาค่าความต้านทานการสิ้นไถลจะลดลงเนื่องจากการบดทับและขัดสีเพิ่มขึ้นจากยวดยานที่แล่นผ่านไปบนผิวทาง ทำให้อัตราการลดของค่าความต้านทานการสิ้นไถลต่ำลง และจากความสัมพันธ์ตามรูปที่

5.3 (ก) - (ข) ยังพบอีกว่าค่าความต้านทานการสิ้นไกลเฉลี่ยของผิวทางในแนวร่องล้อที่ปรากฏ ทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียกมีค่าต่ำกว่าในระหว่างแนวร่องล้อ เนื่องจากผิวทางบริเวณนี้มี โอกาสจะถูกการบดทับและขัดสีจากยางล้อรถบ่อยครั้งกว่านั่นเอง

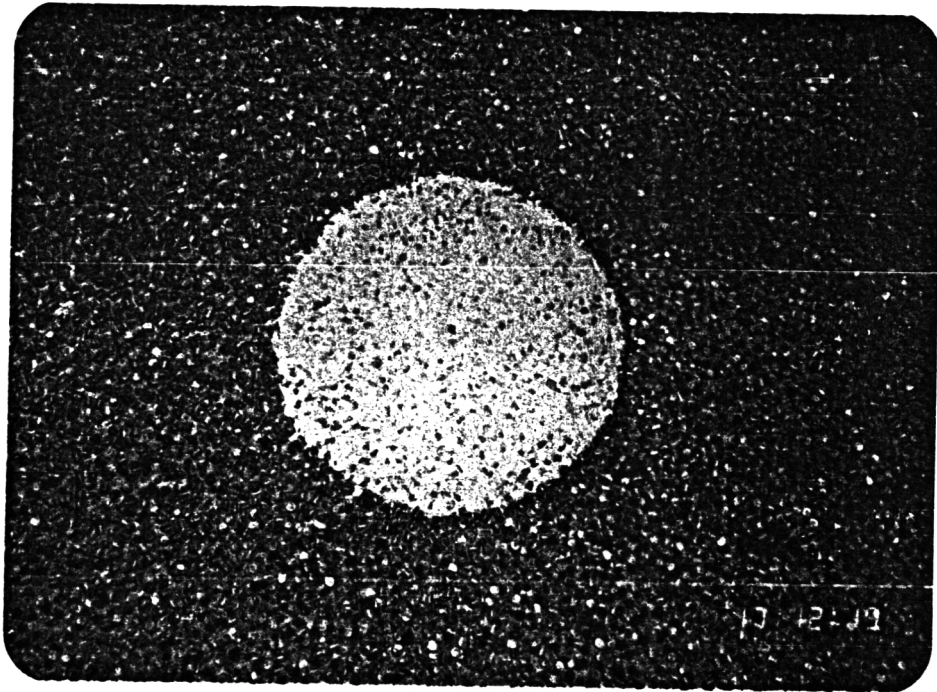
ย่นนำสิ่ง เกิดอีกประการหนึ่งของความสัมพันธ์ตามรูปที่ 5.3(ก) - (ข) คือ เราอาจคาด คคะเนอายุการใช้งาน (อายุบริการ) ของผิวทางเซอร์เฟสที่รีดเมนต์เม็ดดินเผาหรือหินปูน ได้จาก การกำหนดค่าขั้นต่ำของ  $BPN_w$  ตามมาตรฐานของ TRRL และตามคำแนะนำของ Bunnag et al<sup>(1)</sup> ซึ่งมีค่าเท่ากับ 45  $BPN_w$  เพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ยวดยาน เราก็จะคาดคะเนอายุ การใช้งานของผิวทางคร่าว ๆ เพื่อทำการบูรณะและปรับปรุงผิวทางได้

5.2.1.3 ความสัมพันธ์ของค่าความสึกผิวทาง (STD) กับอายุการใช้งาน ของผิวทาง ตามตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่า ความสึกผิวทางโดยเฉลี่ยจะลดลง ตามอายุการใช้งานของผิวทางที่เพิ่มขึ้นและค่าความสึกผิวทางโดยเฉลี่ยในแนวร่องล้อที่ปรากฏจะมี ค่าน้อยกว่าค่าระหว่างแนวร่องล้อที่ปรากฏ ทั้งอัตราการลดลงมากที่สุดของค่าความสึกผิวทางโดย เฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 3 เดือนแรก หลังจากปูผิวทางแล้วเสร็จ และอัตราการลดในช่วงต่อไปจะน้อย ลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อปูผิวทางเสร็จใหม่ ๆ วัสดุเม็ดดินเผาที่โรยบนผิวทางมีการสัดเรียงตัวใน สภาพหลวมจะมีช่องว่าง (Voids) ระหว่างเม็ดดินเผาในระยะแรก ๆ ของอายุการใช้งาน ตาม รูปที่ 5.5 (ก), (ข) ทำให้ความสึกผิวทางมีค่ามาก เมื่อเวลาผ่านไปผิวทางถูกบดทับและขัดสีจาก ยางล้อรถ มีผลให้เม็ดดินเผาจมลึกลงในยางแอสฟัลท์มากขึ้นในตำแหน่งที่มีเสถียรภาพมากที่สุด คือ ในตำแหน่งราบขนานกับผิวทาง<sup>(25)</sup> ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินเผาน้อยลง ดังนั้น อัตราการ ลดจึงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณแนวร่องล้อที่ปรากฏซึ่งมีโอกาสถูกบดทับและขัดสีจากยวดยาน มากกว่าที่ย่อมมีความสึกผิวทางน้อยกว่า ล้วนในระยะต่อไปการเปลี่ยนแปลงความสึกผิวน้อยลงกว่า ตอนแรกนั้นสาเหตุเกิดจากการขัดสีผิวเม็ดดินเผาซึ่งมีการสึกหรอน้อยและอาจเนื่องจากการไถ้มของ ยางแอสฟัลท์จากการบดทับของยวดยานเมื่อเวลาผ่านไป

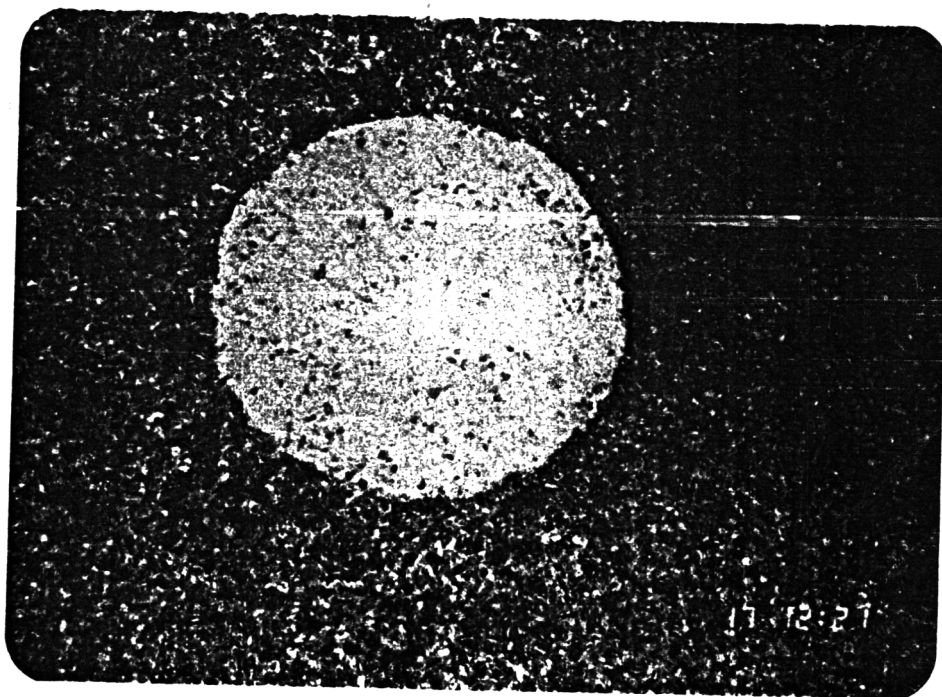
5.2.1.4 ความสัมพันธ์ของค่าความสึกผิวทาง (STD) กับปริมาณการจราจร  
สะสม ตามรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่า ความสึกผิวทางโดยเฉลี่ยจะลดลงเมื่อปริมาณการจราจร สะสมเพิ่มขึ้น โดยมีอัตราการลดสูงในช่วง 3 เดือนแรกซึ่งมีปริมาณการจราจรสะสมประมาณ



รูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสีกผิวทางเฉลี่ยกับอายุการใช้งานของผิวทางในแนวร่องล้อที่ปรากฏ บนแปลงทดสอบที่ 1,2 และผิวทางเซอร์เฟสที่หินปูนอย่างเดียว ปริมาณยานที่วิ่งผ่าน (Vehicle passes)

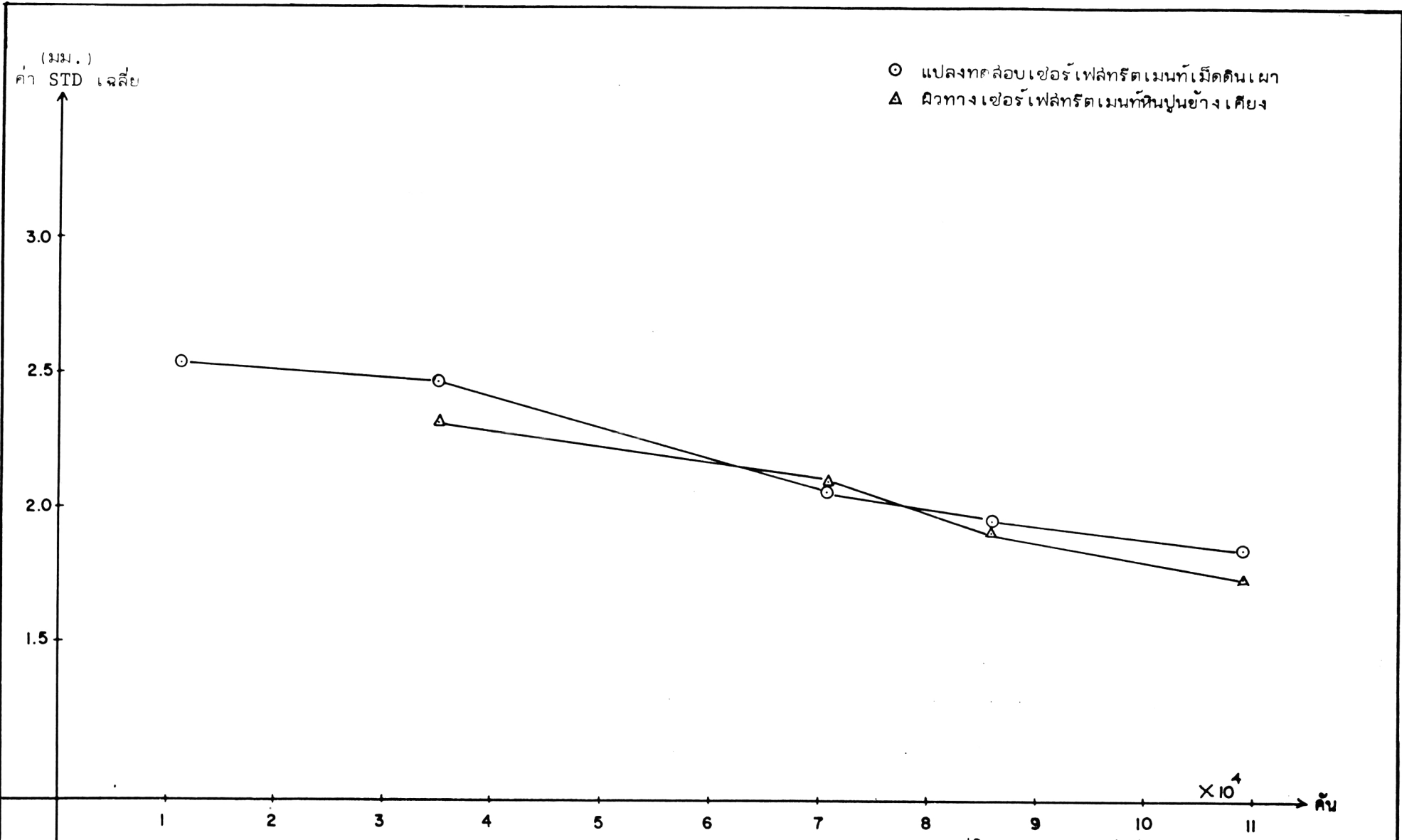


รูปที่ 5.5 (ก) แสดงการหาความลึกผิวของผิวทางเซอร์เฟลัทริตเมนต์เม็ดดินเผา บนแปลงทดลอง  
ที่ 1 บนเส้นทางสาย 324 ตอนพนมทวน-อุ้มทอง บริเวณกึ่งกลางแนวร่องล้อ โดย  
วิธี *Sand-Patch* หลังเปิดการจราจรได้ 33 วัน



รูปที่ 5.5 (ข) แสดงการหาความลึกผิวของผิวทางเซอร์เฟลัทริตเมนต์หินปูนอย่างเคียง บนเส้นทาง  
สาย 324 บริเวณกึ่งกลางแนวร่องล้อ โดยวิธี *Sand-patch* หลังเปิดการจราจร  
ได้ 33 วัน





รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกดิวทางเฉลี่ย กับปริมาณการจรรจกละลุ่มในแนวร่องล้อที่ปรากฏ บนแปลงทดสอบที่ 1, 2 และ ดิวทางเซอร์เฟลทริตเมนต์หินปูนอย่างเคียง

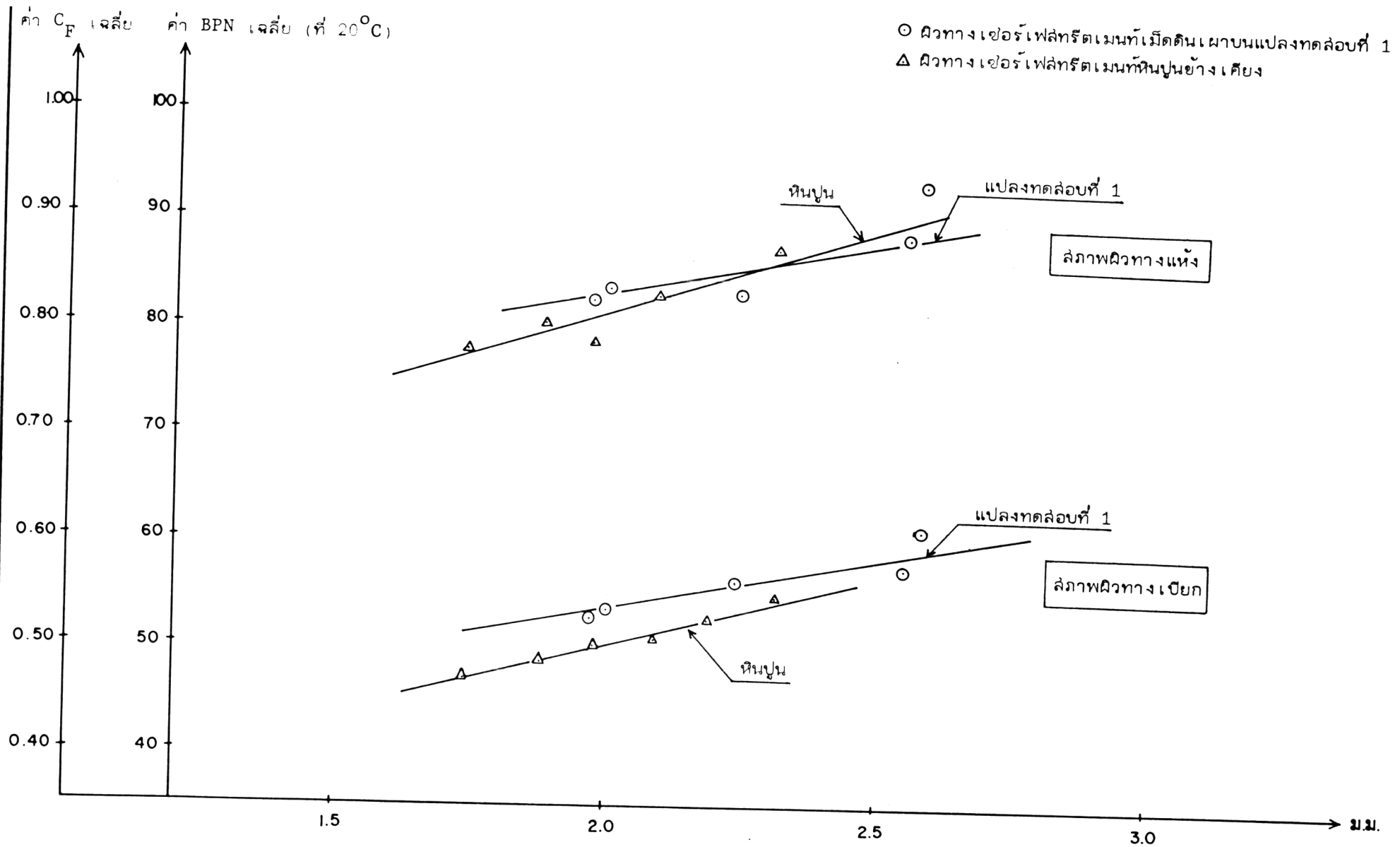
$7.1 \times 10^4$  คัน และอัตราการลดในช่วงต่อไปจะน้อยลง อธิบายได้ว่า ปริมาณรถยนต์ที่วิ่งผ่าน ไปบนผิวทาง ทำให้ผิวมหภาคของผิวทางลดลงเรื่อย ๆ จึงมีผลทำให้ค่าความสึกผิวทางลดน้อยลง โดยเฉพาะในบริเวณแนวร่องล้อที่ปรากฏจะมีโอกาสที่ค่าความสึกผิวทางโดยเฉลี่ยจะลดลงมากกว่า ระหว่างแนวร่องล้อที่ปรากฏ ส่วนอัตราการลดน้อยลงในช่วงต่อไปนั้นสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 5.2.1.3 ข้างต้น

5.2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานการสิ้นเปลืองกับความสึกผิวทาง ตามรูปที่ 5.7 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่าความต้านทานการสิ้นเปลืองจะแปรผันตามความสึกผิวทางทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียก หรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อความสึกผิวทางเพิ่มขึ้น จะทำให้ความต้านทานการสิ้นเปลืองมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย เหตุที่เป็นเช่นนี้เราอาจจะแยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 ในสภาพผิวทางแห้ง การที่ผิวทางมีความสึกผิวมาก แสดงว่าผิวมหภาคมีความหยาบมาก ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างยางล้อรถกับผิวทางขณะเมื่อเกิดการสัมผัสกันขึ้น คือ ยางรถจะเกิดการยึดตัวดีขึ้น จึงทำให้ค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองสูงขึ้นกว่าเมื่อความสึกผิวทางน้อย ๆ ส่วนกรณีที่ 2 ในสภาพผิวทางเปียก ผิวทางที่มีความหยาบ (ความสึกผิวทางมีค่ามาก) จะสามารถระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสในขณะที่ยางล้อรถสัมผัสพื้นผิวทางได้ดีกว่าผิวทางที่มีความสึกผิวน้อย ทำให้ไม่เกิดการสิ้นเปลืองขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานการสิ้นเปลืองต่ำสุดก็ยังคงมากกว่า  $45 \text{ BPN}_w$  ตามมาตรฐาน TRRL ของอังกฤษซึ่งถือว่ายังปลอดภัยในการใช้งานได้ต่อไป

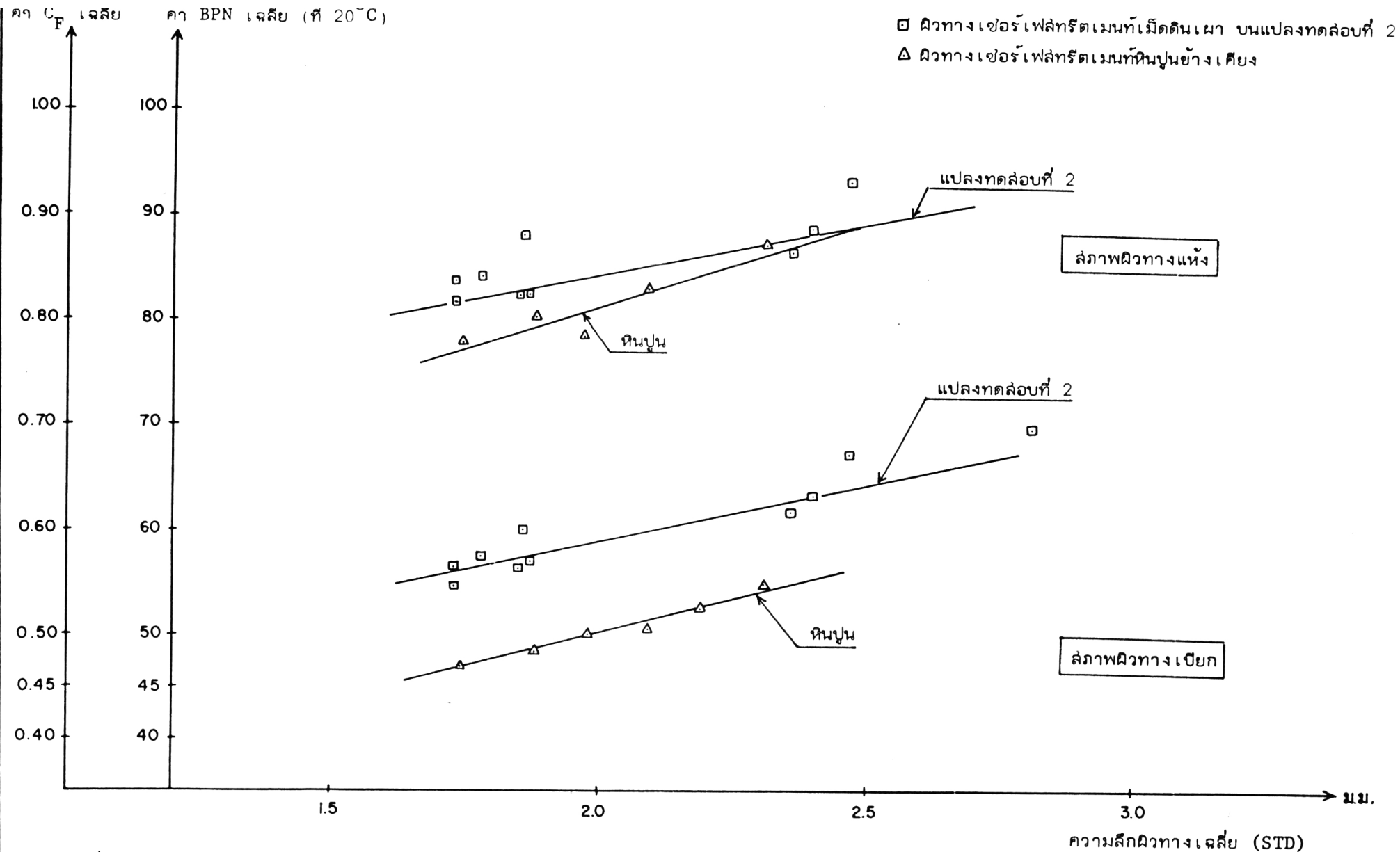
5.2.1.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบในสนามระหว่างผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาและหินปูน

ก่อนที่จะวิเคราะห์เปรียบเทียบผลนั้น จำเป็นจะต้องทราบคุณสมบัติ ขนาด และปริมาณวัสดุที่ใช้ในผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนเสียก่อน ดังนี้คือ บนเส้นทางสาย 324 ตอนพนมทวน - อุทอนั้นผิวทางเดิมเป็นผิวแมคคาเดม ตั้งรายละเอียดรูปหน้าตัดของถนนเดิม ตามรูปที่ 4.3 (ก) หินปูนที่ใช้ในการ Overlay เป็นหิน  $\frac{1}{2}$ " ขนาดคละจากโรงโม่ศิลาอุทอน กม.ที่ 33 +100 ผลจากการทดลองและออกแบบในห้องทดลองของเขตการทางกรุงเทพ ได้ผลดังนี้

ค่าดัชนีความแบน (F.I)	= 26.8%	< 35% <sup>(44)</sup> อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง
ค่าขนาดเฉลี่ย (M.S.)	= 10.1 มม.	
ค่า ALD (H)	= 7.05 มม.	
Void Fraction	= 0.472	



รูปที่ 5.7 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้งและเปียก กับค่าความลึกผิวทางเฉลี่ย (STD) ที่ปรากฏบนแปลงทดสอบที่ 1 และผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์ที่หินปูนอย่างเดียว



รูปที่ 5.7 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BPN เฉลี่ยในสภาพผิวทางแห้ง และเปียก กับค่าความลึกผิวทางเฉลี่ยในแนวร่องล้อ และระหว่างแนวร่องล้อ ที่ปรากฏบนแปลงทดสอบที่ 2 และผิวทางเออร์เฟลทริตเมนต์หินปูนข้างเคียง

ค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) =	2.691
% การสึกหรอ (AAV)	= 24.4% < 35% <sup>(44)</sup> อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานของกรมทางหลวง
% การหลุดลอก (Stripping) โดยวิธี plate test	= 18.5% < 20% <sup>(44)</sup> อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานของกรมทางหลวง
หน่วยน้ำหนักของหินปูนในสภาพหลวม (Loose Unit wt.)=	1.42 ตันต่อ ลบ.เมตร.
ADT ของเส้นทาง	= 1,766 vpd. (2 ทิศทาง)
Traffic Factor (T)	= 0.65

สัดส่วนขนาดคละ (Gradation) เมื่อเทียบกับมาตรฐานของกองวิเคราะห์และวัสดุ<sup>(44)</sup>

มีดังนี้

ขนาดตะแกรง	% Passing		หมายเหตุ
	หินปูนที่โย	มาตรฐานกรมทางหลวง	
$\frac{3}{4}$ "	100.0	100	อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด
$\frac{1}{2}$ "	91.80	90-100	
$\frac{3}{8}$ "	27.45	0-40	
No. 4	1.35	0-2	
No. 8	1.20	0-8	
No. 16	0	0-0.5	

จากข้อมูลดังกล่าว จะได้ปริมาณวัสดุที่โย คือ

$$\text{อัตราหินปูนที่โย} = 15.39 \text{ กิโลกรัม/ตร. เมตร}$$

$$\text{อัตรายางแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่โย} = 0.95 \text{ สตร/ตร. เมตร}$$

ส่วนคุณสมบัติและปริมาณวัสดุเม็ดดินเผาที่โยได้กล่าวไว้ข้างละ เอียดพร้อมทั้ง วิธีการก่อสร้างตามขั้นตอนต่าง ๆ ในบทที่ 3 และวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.

พิจารณาต้านทานทานการสิ้นไกล จะเห็นได้จากรูปที่ 5.3(ก) - (ข) และ ตารางที่ 5.4 ว่าในอายุการใช้งานเดียวกันค่าความต้านทานการสิ้นไกลของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาโดยเฉลี่ยในแนวร่องล้อที่ปรากฏ และระหว่างแนวร่องล้อจะสูงกว่าของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียก และแนวโน้มอัตราการลดของค่า  $BPN_D$ ,  $BPN_W$  โดยเฉลี่ยในแนวร่องล้อที่ปรากฏ และระหว่างแนวร่องล้อต่ำกว่า แสดงว่าในอายุการใช้งานของผิวทางที่เท่ากันผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาให้คุณสมบัติของความต้านทานการสิ้นไกลดีกว่า ผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน เนื่องจากความลึกผิวของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผามีค่ามากกว่า (ผิวมหภาคหยาบกว่า) ดังนั้นเมื่อยางล้อรถสัมผัสกับผิวทางจะทำให้เกิดแรงฮิสเตอร์ซิสมากกว่า ค่าความต้านทานการสิ้นไกลจึงสูงกว่าโดยเฉพาะในกรณีที่ผิวทางเปียกผิวมหภาคที่หยาบจะช่วยในการขับน้ำหรือระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสได้ดี ประกอบกับเม็ดดินเผามีความพรุนสูงกว่าหินปูนมากความหยาบของผิวจุลภาคจะสามารถช่วยระบายน้ำในบริเวณผิวสัมผัสของยางล้อรถกับผิวทางได้ดี ช่วยให้เกิดแรงยึดเกาะบนผิวทางดีขึ้น อีกประการหนึ่งหินปูนซึ่งเป็นวัสดุตามธรรมชาติที่ค่อนข้างอ่อน ดังนั้นเมื่อถูกขัดสีบ่อยครั้งจะเกิดผิวสิ้นเป็นมัน (1,17) ทำให้ผิวมหภาคลดลงอย่างมาก และความพรุนของหินปูนน้อย ผิวจุลภาคก็เลยน้อย จึงมีผลให้ความต้านทานการสิ้นไกลของผิวทางลดลงในตัวเองเดียวกันตามรูปที่ 5.3(ก) - 5.3(ข) พบว่า ในปริมาณการจราจรสะสมที่เท่ากัน ความต้านทานการสิ้นไกลของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาในแนวร่องล้อที่ปรากฏและระหว่างแนวร่องล้อจะสูงกว่า และแนวโน้มอัตราการลดเฉลี่ยของความต้านทานการสิ้นไกลต่ำกว่าผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูนทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียก แสดงว่า ในปริมาณการจราจรสะสมเท่ากัน ผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาให้คุณสมบัติของความต้านทานการสิ้นไกลดีกว่าผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน เนื่องมาจากหินปูนซึ่งเป็นวัสดุเนื้ออ่อนถูกขัดสีจากล้อของยานไต่ได้ง่ายกว่าเม็ดดินเผาทำให้เกิดการสึกหรอลงเรื่อย ๆ จนผิวมหภาคลดน้อยลง ซึ่งก็จะเกี่ยวข้องกับความลึกผิวทางที่ไต่กล่าวไปแล้ว จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานการสิ้นไกลน้อยกว่าผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผา

พิจารณาต้านทานความลึกผิวทาง จะเห็นได้จากรูปที่ 5.4 และ 5.6 ว่า ในช่วงอายุการใช้งานและปริมาณการจราจรสะสมที่เท่ากัน ความลึกผิวทางโดยเฉลี่ยของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาจะมีค่าสูงกว่าของผิวทางเซอร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน และมีอัตราการลดลงของ

ค่าความลึกลับทางโดยเฉลี่ยต่ำกว่า แต่ในช่วงแรก ๆ ของอายุการใช้งานประมาณ 3 เดือน หลังจากเปิดการจราจรและเมื่อปริมาณการจราจรสะสมประมาณ  $7.1 \times 10^4$  คัน อัตราการลดลงของค่าความลึกลับทางของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาจะสูงกว่าของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน แต่ช่วงต่อไปจะมีอัตราการลดน้อยลง เนื่องมาจากวัสดุมวลรวมเม็ดดินเผาที่ใช้เป็นวัสดุมวลรวมขนาดเดี่ยว ตั้งรายละเอียดการวิเคราะห์สัดส่วนขนาดละเอียดในภาคผนวก ก. แต่หินปูนที่ใช้มีขนาดสัดส่วนละเอียดกันไป เมื่อผิวทางก่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ ยางแอสฟัลท์ยังมีความอ่อนตัวอยู่ และการอัดเรียงตัวของเม็ดดินเผายังไม่มึ่มา เสมอมีช่องว่างระหว่างเม็ดมากประกอบกับค่า A.L.D. (เป็นค่าเฉลี่ยความสูงของวัสดุมวลรวมจากผิวบนของยางแอสฟัลท์ที่ลาดบนผิวถนนเดิม) ของเม็ดดินเผามีค่ามากกว่าหินปูน ดังนั้นความลึกลับของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาลึกลับกว่าของหินปูน ต่อมาเมื่อเปิดการจราจรเม็ดดินเผาซึ่งมีค่า A.L.D. ลึกลับกว่าปริมาณยางแอสฟัลท์ที่ใช้จะมากกว่า เมื่อถูกขยควยานที่แล่นผ่านไปบนผิวทางบดทับจึงมีโอกาที่จะจมลงไปใยางแอสฟัลท์ได้มากกว่าหินปูน ทำให้อัตราการลดลงของค่าความลึกลับของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาลึกลับกว่า แต่ช่วงต่อมายางแอสฟัลท์ให้คุณสมบัติในการยึดเหนี่ยววัสดุมวลรวมดีขึ้น การอัดเรียงตัวของวัสดุมวลรวมอยู่ในตำแหน่งที่มีเสถียรภาพ ความลึกลับทางในช่วงนี้จะเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผิววัสดุมวลรวมถูกล้อรถขัดสีและบดทับจนผิวรวมหาคลดลง ซึ่งจากรูปที่ 5.4 และ 5.6 จะเห็นว่าอัตราการลดลงความลึกลับของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาในช่วงหลังลดน้อยกว่าของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน แสดงว่า เม็ดดินเผามีความต้านทานต่อการสึกหรอได้ดีกว่าหินปูนในสภาพการใช้งานจริง

จากรูปที่ 5.7(ก) และ 5.7(ข) พบว่า ที่ความลึกลับทางเดียวกัน ค่าความต้านทานการสิ้นไกลของผิวทางในสภาพผิวทางเปียก ของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผาจะมีค่าสูงกว่าของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์หินปูน เนื่องมาจากในสภาพผิวทางเปียก เม็ดดินเผาซึ่งเป็นวัสดุที่มีลักษณะพรุน อันเป็นคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของมัน จึงสามารถช่วยในการดูดซึมและระบายน้ำออกจากผิวสัมผัสระหว่างผิวทางกับยางรถได้เร็วขึ้นกว่าหินปูน ซึ่งมีความพรุนน้อยกว่า (สังเกตจากค่าปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเมื่อเม็ดดินเผากับหินปูน ( $W_a$ ) ซึ่งค่า  $W_a$  เฉลี่ยของเม็ดดินเผามากกว่าหินปูนประมาณ 12%) และความพรุนนี้ยังมีผลในการเพิ่มผิวสัมผัสของผิวทางได้อีกด้วย ทำให้ความต้านทานการสิ้นไกลของผิวทางเออร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดดินเผามีค่าสูงกว่าที่ความลึกลับเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางปฏิบัติในงานก่อสร้างผิวทางจริง พบว่า ข้อดีของ  
 เม็ดดินเผาคือ น้ำหนักเบากว่าหินปูน เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า ทำให้สามารถ  
 บรรจุทุกไปบริเวณหน้างานได้ปริมาณมากกว่าในแต่ละเที่ยวของการขนวัสดุ (เทียบปริมาณวัสดุ  
 จากน้ำหนักบรรทุก) ส่วนขั้นตอนการทำงานในระหว่างการก่อสร้างผิวทางทุกขั้นตอนก็คงเหมือน  
 กับเมื่อใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวม ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า เราสามารถใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุมวล-  
 รวมในการก่อสร้างผิวทางเซอร์เฟลทรีดเมนท์ได้ดี

สำหรับแปลงทดสอบที่ 1 และแปลงทดสอบที่ 2 บนเส้นทาง 324 ตอนพนมทวน -  
 อุทอง ซึ่งยางแอสฟัลท์ที่ใช้เป็นชนิด RS-3K และ AC 80-100 pen. ตามลำดับ จากการ  
 ปฏิบัติงานในสนามปรากฏว่า เมื่อใช้ยาง RS-3K ปัญหาเกี่ยวกับอุณหภูมิของยางแอสฟัลท์ในขณะทำ  
 การลาดนั้นน้อยกว่าของยาง AC 80-100 pen. กล่าวคือ อุณหภูมิของยาง RS-3K ขณะลาดบน  
 ผิวทางเดิมก่อนโรยวัสดุมวลรวมเม็ดดินเผาอยู่ในช่วง  $60-80^{\circ}\text{C}$  ทำให้สะดวกและง่ายต่อการ  
 ทำงานมาก แต่ผิวทางเดิมจะต้องทำการพรมน้ำให้ชื้นพอหมาด ๆ และทำให้เม็ดดินเผาเปียก  
 (prewet) เสียก่อน เพื่อช่วยปฏิบัติการแตกตัวของยาง RS-3K ทั้งยังเป็นการล้างฝุ่นผงตาม  
 ผิวของเม็ดดินเผาอีกประการหนึ่งด้วย อันจะเป็นผลดีต่อการยึดเกาะเม็ดดินเผา แต่อย่างไรก็  
 ตามวิธีการนี้ก็ไม่ได้ถือว่าเป็นความลำบากในการก่อสร้างผิวทาง ส่วนยาง AC 80-100 pen.  
 ต้องให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์ถึง  $140-175^{\circ}\text{C}$  สูงกว่ายาง RS-3K มาก ซึ่งในทางปฏิบัติจะ  
 มีโอกาสเป็นอันตรายต่อคนงานได้ง่าย

ส่วนคุณสมบัติเกี่ยวกับความต้านทานการสั่นโกลทั้งในสภาพผิวทางแห้งแฉะ เปียก และ  
 ความสึกผิวทางในแนวร่องล้อและระหว่างแนวร่องล้อที่ปรากฏ ระหว่างแปลงทดสอบทั้งสอง  
 ตามตารางที่ 5.4, 5.5 และรูปที่ 5.3(ก)-(ข), 5.4, 5.6 จะเห็นได้ว่า มีค่าเฉลี่ยของ  
 $\text{BPN}_D$ ,  $\text{BPN}_W$  และ STD ในแต่ละช่วงเวลาการไ้งานผิวทางไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น  
 อาจกล่าวได้ว่าเราสามารถใช้อย่างแอสฟัลท์ชนิด RS-3K แทนยาง AC 80-100 pen. ในการ  
 ไ้งานก่อสร้างจริงได้ทุกประการ

สำหรับแปลงทดสอบที่ 3 บนเส้นทางสาย 321 ตอนอุทอง-สุพรรณบุรี ซึ่งใช้อย่าง  
 แอสฟัลท์ชนิด AC 80-100 pen. เมื่อโรยวัสดุเม็ดดินเผาแล้วทำการบดอัดเรียบร้อย หลังจากนั้น  
 นั้นจึงทำการลาดทรายหยาบเพื่อลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินเผาตามรูปที่ 5.8 (ก) และ (ข)  
 โดยมีจุดประสงค์ในการเพิ่มความเสียดทานของผิวทางและป้องกันการเยิ้มของยางแอสฟัลท์ AC



ที่ใช้ เพราะขณะทำการก่อสร้างอุณหภูมิบนผิวทางเต็มสูงมากถึง  $45^{\circ}\text{C}$  หลังจากก่อสร้างแล้ว - เสรีเปิดการจราจรเป็นเวลา 2 ชม. เนื่องจากเป็นถนนที่มีการจราจรหนาแน่นมาก (ADT เฉลี่ย 3,641 คัน/วัน, %จำนวนรถโดยสารหนักและรถบรรทุก, (% HB & T) = 73.20%)<sup>(45)</sup> ดังนั้น เมื่อเปิดใช้งานผิวทางได้ประมาณ 33 วัน ปรากฏว่า ผิวทางเกิดการหลุดร่อนบริเวณ แนวร่องล้อส่วนที่ใกล้เส้นกึ่งกลางถนน และส่วนที่ติดกับผิวทางเออร์เฟลัทรัดเมนต์หินปูนข้างเคียง ทั้งยังเกิดการเอิม (Bleeding) ของยางในแปลงทดสอบ และบริเวณใกล้เคียง ดังรูปที่ 5.9 (ก), (ข) และ 5.10 (ก), (ข) เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน คือ

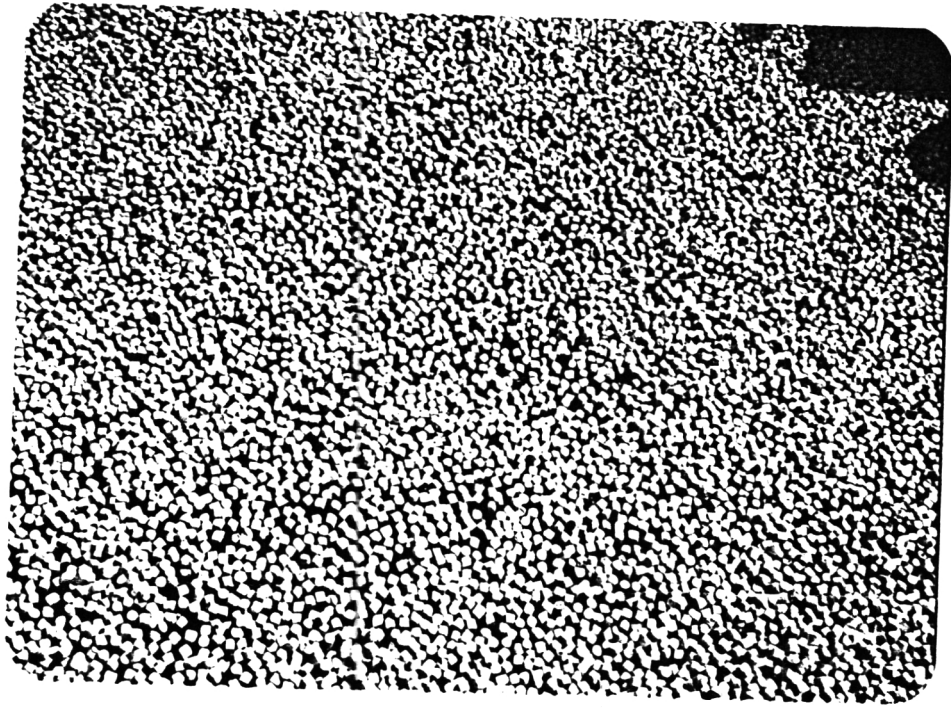
ก. ทำการล่าทรายหายาบลงบนผิวทางเร็วเกินไป ความหนืดของยางแอสฟัลท์-ซีเมนต์ ยังไม่มากพอที่จะยึดเม็ดดินเผาไว้ได้ ทำให้ทรายที่ล่านี้เข้าไป แทรกอยู่ตามผิวสัมผัสระหว่างยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ และเม็ดดินเผา มีผลให้แรงยึดเกาะลดลงอย่างมาก เมื่อยวดยานแล่นผ่านจึงเกิดการหลุดร่อนขึ้น

ข. เกี่ยวกับปัญหาด้านการจราจร คือ อาจละเปิด Traffic เร็วเกินไป (เพียง 2 ชม. หลังการก่อสร้างแล้วเสรี) ทำให้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์มีเวลาในการยึดเกาะเม็ดดินเผาให้แข็งแรงน้อยเกินไป ประกอบกับยวดยานใช้ความเร็วสูงเกินที่กำหนดไว้ (ประมาณ 30-40 กม./ชม.) ในช่วงระยะแรกที่ก่อสร้างแล้วเสรี ความเร็วของยวดยานที่เร็วมาก ๆ นี้จะทำให้เม็ดดินเผาขยับตัว และน้ำที่มีอยู่บนผิวทางอาจละลงไปในช่องว่าง ทำให้เกิดการหลุดร่อนของเม็ดดินเผาได้ง่าย

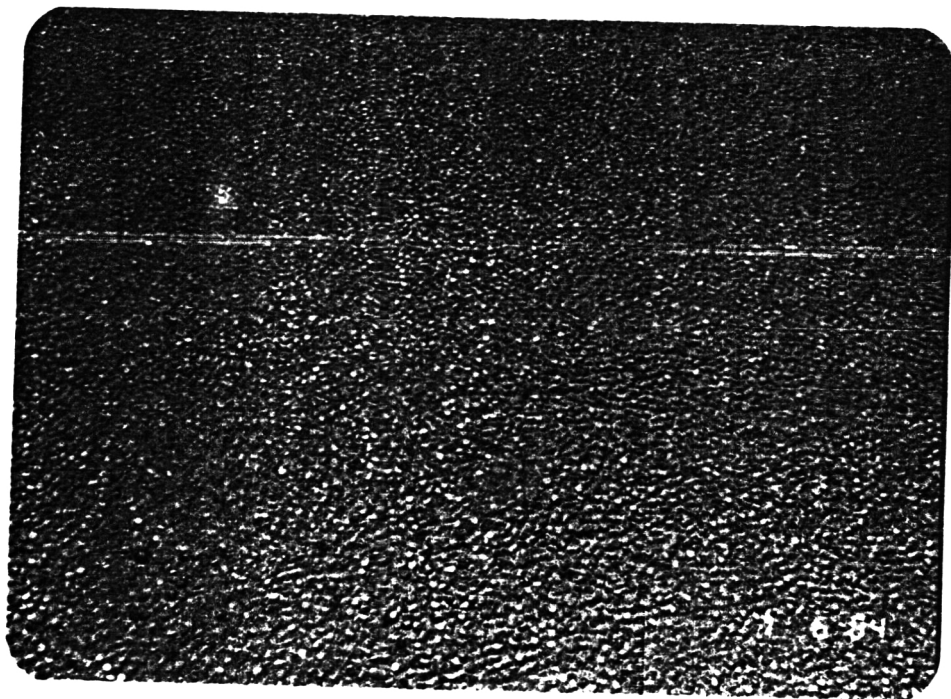
ค. เกี่ยวกับปัญหาด้านการก่อสร้าง คือ ทำการบดอัดไม่ดีพอ เม็ดดินเผาไม่เรียงตัวกันอย่างสม่ำเสมอ เม็ดดินเผาส่วนที่เกยอยู่ด้านบนจะหลุดออกได้ง่ายเนื่องจากปริมาณยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ไม่มากพอที่จะยึดไว้ หรืออาจละเนื่องจากการปาดยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ด้วยไม้ปาดทำได้ไม่สม่ำเสมอทั่วตลอดแปลงทดสอบ มีผลให้บางส่วนมีจำนวนเนื้ออย่างมากเกินไป จึงเกิดการเอิมขึ้น และบางส่วนเนื้ออย่างน้อยเกินไป ทำให้การยึดเกาะของเม็ดดินเผา และยางแอสฟัลท์ไม่ดีพอจึงเกิดการหลุดร่อนขึ้นได้

ง. ส่วนการเอิมอาจเกิดจาก เม็ดดินเผามีฝุ่นผงเกาะตามผิวมาก ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ แทนที่จะสับเม็ดดินเผากลับไปสับฝุ่นผงที่เคลือบผิวอยู่ ทำให้เกิดการหลุดร่อนเหลือแต่ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ด้านล่าง จึงทำให้ผิวลื่น

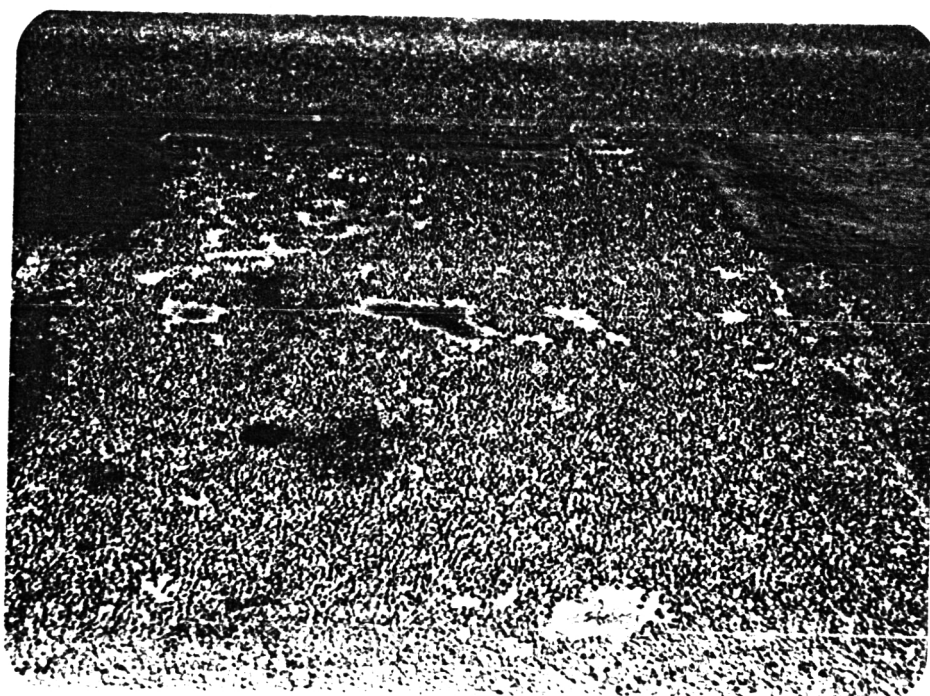
ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงไม่สามารถทำการทดสอบวัดค่าความต้านทานการสิ้นไกล และ  
ความลึกลับทางในแปลงทดสอบที่ 3 นี้ได้



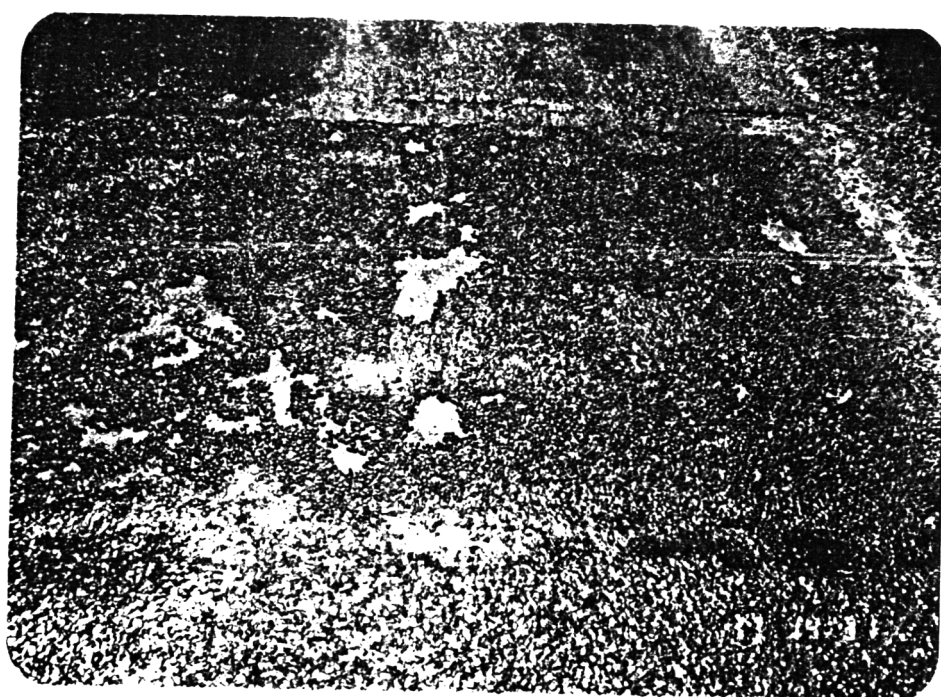
รูปที่ 5.๘ (ก) แสดงผิวทางบนเส้นทางสาย 321 ตอนแยกอุทอง-สุพรรณบุรี (แปลงทดลองที่ 3) หลังการบดอัดด้วยรถบดแล้ว ก่อนทำการสาดทรายหยาบจะเห็นว่า มีปริมาณช่องว่าง ( void ) ระหว่างเม็ดดินเผามาก



รูปที่ 5.๘ (ข) แสดงผิวทางบนเส้นทางสาย 321 (แปลงทดลองที่ 3) หลังทำการสาดทรายหยาบ เพื่อลดช่องว่างระหว่างเม็ดดินเผา

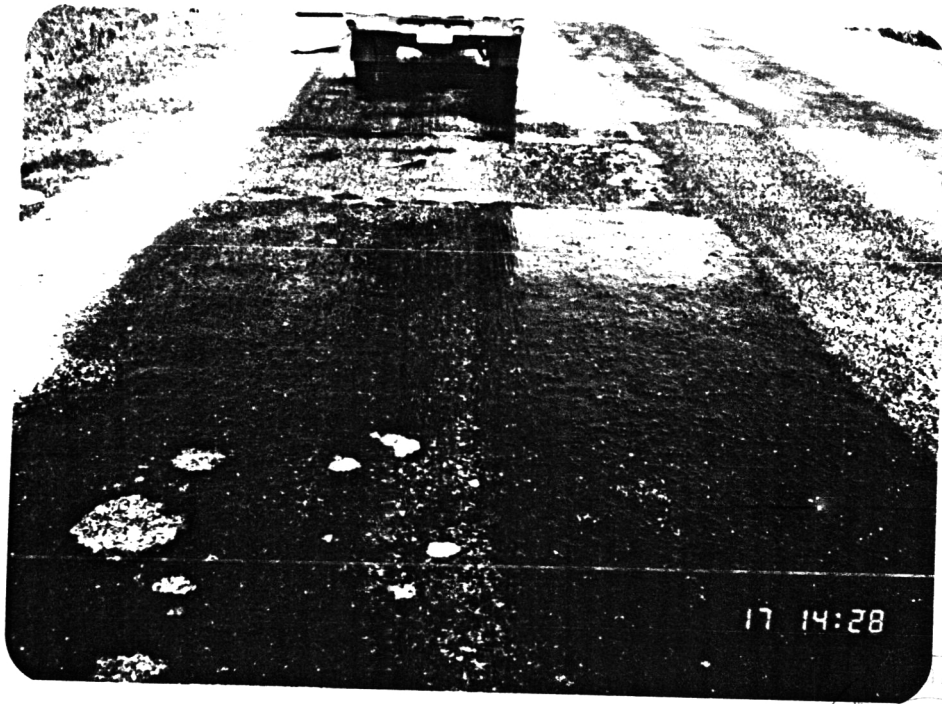


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.9 (ก), (ข) แสดงผิวทางบนเส้นทางสาย 321 ตอนแยกภู่อู่ทอง-สุพรรณบุรี (แปลงทดลอง  
ที่ 3) ที่เกิดการหลุดร่อนบริเวณแนวร่องล้อและกึ่งกลางแนวร่องล้อ

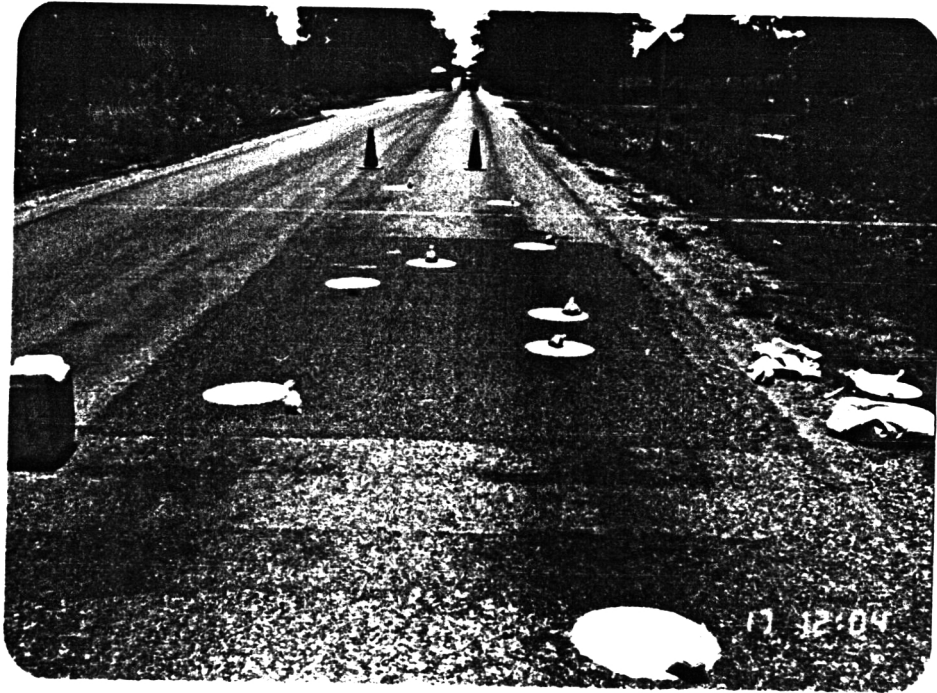


(ก)



(ข)

รูปที่ 5.10 (ก), (ข) แสดงผิวทางบนเส้นทางสาย 321 ตอนแยกคู้งอง-คูพรตบุรี (แปลงทดสอบที่ 3) ที่เกิดการซึมของยางแอสฟัลท์ที่เจมด (Bleeding effect) บริเวณแนวร่องล้อด้านในกึ่งกลางถนน (กม.ที่ 150) และบริเวณข้างเคียง



รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของผิวทาง เฟอร์เฟลทรีตเมนต์เม็ดเล็กดินเฆาะและหินปูนข้างเคียง บนเส้นทางสาย 324 ตอนพนมทวน-อุ้มทอง ซึ่งจะเห็นความแตกต่างเกี่ยวกับสีของผิวทางทั้งสองอย่างชัดเจน ในภาพแสดงถึงตำแหน่งของการวัดความลึกผิวทางบนแปลง ทดสอบและผิวทางข้างเคียงด้วย